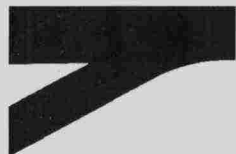


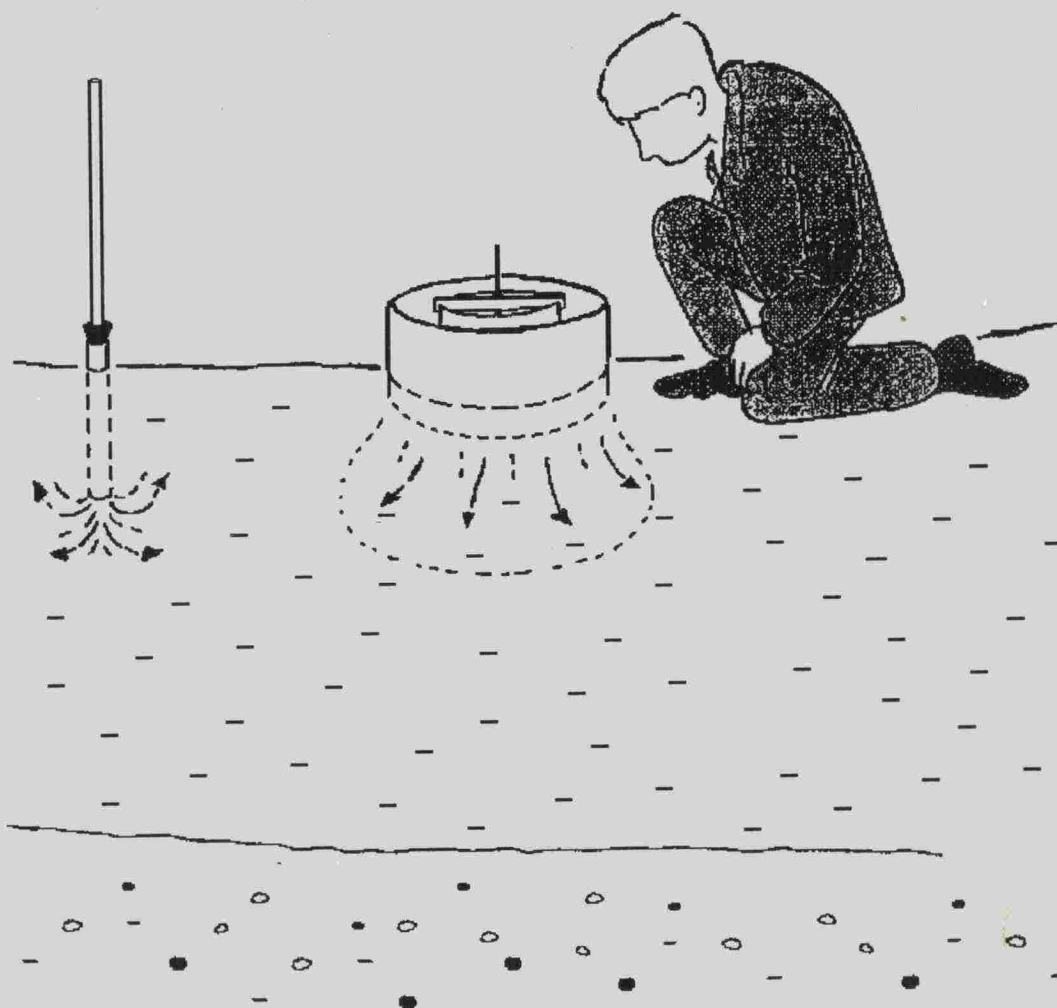
97/229



Tielaitos

Eijamari Pietikäinen

Teiden pohjavesisuojauksissa käytettävien maatiivisteiden vedenläpäisevyyden määrittäminen



Tielaitoksen
selvityksiä

30/1997

Helsinki 1997

Konsultointi

58 TIEL

Tielaitoksen selvityksiä
30/1997

Eijamari Pietikäinen

**Teiden pohjavesisuojauksissa
käytettävien maatiivisteiden
vedenläpäisevyyden määrittäminen**



Tielaitos
Konsultointi

Helsinki 1997

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-361-9
TIEL 3200476
Oy Edita Ab
Helsinki 1997

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallintopalvelut,
painotuotemyynti
Telefax 0204 44 2202

Joutsenmerkin arvoinen paperi

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde 0204 44 150

PIETIKÄINEN, Eijamari: Teiden pohjavesisuojausissa käytettävien maatiivisteiden vedenläpäisevyyden määrittäminen. [Bestämning av permeabilitet för jordtätskikt används som grundvattenskydd nära vägar] Helsinki 1997, Tielaitos, Geopalvelut. Tielaitoksen selvityksiä 30/1997. 91 sivua + 81 liitesivua. TIEL 3200476. ISBN 951-726-369-9. ISSN 0788-3722.

Asiasanat laadunvalvonta, pohjaveden suojaus, vedenläpäisevyys

Tiivistelmä

Tämä työ liittyy osana Tielaitoksen Geokeskuksen teiden pohjavesisuojausten laadunvalvontamenetelmien kehittämisprojektiin. Projektin tavoitteena on selvittää teiden pohjavesisuojausissa käytettävien materiaalien ja rakenteiden vedenläpäisevyyksiä ja vedenläpäisevyyden riippuvuutta eri tekijöistä. Samoin tavoitteena on ollut selvittää pohjavedensuojusrakenteiden tiivistekerrosten laadunvalvontaan soveltuvia menetelmiä.

Tutkimuksessa on esitelty ja vertailtu kirjallisuudessa esitettyjä vedenläpäisevyyden laboratorio- ja maastomittausmenetelmiä ja arvioitu niiden soveltuvuutta tiivistekerrosten vedenläpäisevyyden määrittämiseen. Kirjallisuuden avulla on selvitetty myös vedenläpäisevyyden arvoon vaikuttavia tekijöitä.

Kirjallisuustutkimuksen lisäksi on tehty vedenläpäisevyyksikokeita laboratoriossa ja maastossa. Laboratoriossa vedenläpäisevyyksikokeita on tehty jäykkäseinäisellä ja pehmeäseinäisellä laitteistolla. Menetelmä on valittu materiaalin rakeisuuden ja oletetun vedenläpäisevyyden perusteella. Laboratoriokokeilla tutkittiin rakeisuuden, tiivistämisen aikaisen vesipitoisuuden ja kokeessa käytetyn gradientin vaikutusta vedenläpäisevyyteen ja kokeiden toistettavuuteen.

Maastomittauksia on tehty todelliselle suojauskohteelle rakennetulla koealueella, jossa on tutkittu kahden materiaalin vedenläpäisevyyttä heti rakentamisen jälkeen ja ensimmäisen talven jälkeen. Vedenläpäisevyys maastossa on määritetty putkialenemamittauksella ja kaksirengasinfiltrimetrimittauksella.

Laboratoriossa määritetyt vedenläpäisevyyshavainnot ovat pienempiä kuin maastossa mitatut arvot. Tämä johtuu sekä määrittystavan että olosuhteiden erilaisuudesta: maastossa tiivistekerros ei ole aina täysin vedellä kyllästetty kuten laboratoriossa eikä myöskään aina samassa vesipitoisuudessa tai tiiviydessä. Putkialenemamittauksella ja kaksirengasinfiltrimetrimetrillä saatavat tulokset poikkeavat myös jonkin verran toisistaan. Kahdelle materiaalille tehtyjen laboratorio- ja maastomittausten tulosten perusteella laskettuna maastossa mitatut vedenläpäisevyyden arvot olivat noin 0,1 - 40 kertaisia laboratoriotuloksiin verrattuna. Ero johtui ilmeisesti pääasiassa roudan vaikutuksesta.

Tutkimuksessa käytetyistä maastomittausmenetelmistä laadunvalvontaan soveltuvampi menetelmä on putkialenemamittaus, joka on kaksirengasinfiltrimetrimittauksista nopeampi. Kaksirengasinfiltrimetrimittauksista ei voida käyttää varsinaiseen laadunvalvontaan, mutta se soveltuu tutkimustarkoituksiin ja valmiin rakenteen laadun toteamiseen.

PIETIKÄINEN, Eijamari: Determining of hydraulic conductivity of soil liners used in ground water protection near roads. Helsinki 1997, Finnish National Road Administration. Report 30/1997. 91 p., 81 app. TIEL 3200476. ISBN 951-726-369-9. ISSN 0788-3722.

Key words groundwater protection, hydraulic conductivity, quality control

Abstract

This thesis is part of a development project in Finnish Road Administration concerning protecting ground water near roads. The aim of the project is to study hydraulic conductivity of soil materials and constructions used in ground water protection and different factors affecting hydraulic conductivity. Also it has been aim to study appropriate methods for quality control of the soil liners.

In the study it has been represented and compared methods for measuring hydraulic conductivity in laboratory and in situ presented in literature. It has been estimated which methods are most suitable for determining hydraulic conductivity of the soil liners. Also it has been studied factors presented in literature affecting hydraulic conductivity.

In addition the literature study it has been made hydraulic conductivity measurements in laboratory and in field. In laboratory it have been used flexible and rigid wall permeameters. The method was chosen according to the grain size distribution and assumed hydraulic conductivity of the soil. With the laboratory measurements it has been studied how grain size distribution, moulding water content and gradient affect the hydraulic conductivity and repeatability of the measurements.

In situ measurements has been made at test site constructed on real ground water protection site. There hydraulic conductivity measurements were made immediately after construction and after the first winter. In situ hydraulic conductivity has been determined with cased hole infiltration test and open double ring infiltrometer.

Hydraulic conductivities determined in laboratory are smaller than those measured in situ. This is because of differences in the methods and circumstances: the liner is not always fully saturated in situ as it is in laboratory and it may be in different water content or density. Values measured in situ with cased hole infiltration test and double ring infiltrometer also differ for some amount. Based on field and laboratory measurements for two soils, hydraulic conductivities in field are about 0,1 - 40 times larger than hydraulic conductivities measured in laboratory. The difference seems to come mostly from effect of frost.

In situ methods used in this study, the cased hole infiltration test is more suitable for quality control, as it is faster than double ring infiltrometer. Double ring infiltrometer is not appropriate for quality control during work, but can be used for researching purposes and verifying the quality of finished structure.

Alkusanat

Tämä pohjavesisuojausissa käytettävien maatiivisteiden vedenläpäisevyyden määrittystä käsittelevä julkaisu liittyy osana tielaitoksen pohjavesisuojausten laadunvalvontamenetelmiä kehittävään projektiin. Selvitys on tehty tielaitoksen geokeskuksessa.

Julkaisun on laatinut Eijamari Pietikäinen ja se on samalla hänen diplomityönsä.

Geokeskuksessa tätä työtä on ohjannut Jorma Immonen. Työn on tarkastanut professori Eero Slunga Teknillisestä Korkeakoulusta.

Helsingissä joulukuussa 1997

Konsultointi Geopalvelut

6 Teiden pohjavesisuojauksissa käytettävien maatiivisteiden vedenläpäisevyyden määrittäminen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
SISÄLLYSLUETTELO	6
MERKINNÄT	8
1 JOHDANTO	11
1.1 Teiden pohjavesisuojaukset	11
1.2 Tutkimuksen tarkoitus	13
2 VEDENLÄPÄISEVYYSTEORIA	14
2.1 Käsitteitä	14
2.2 Vedenläpäisevyys täysin vedellä kyllästyneessä maassa	15
2.3 Vedenläpäisevyys osittain vedellä kyllästyneessä maassa	18
3 VEDENLÄPÄISEVYYDEN MÄÄRITTÄMINEN LABORATORIOSSA	20
3.1 Jäykkäseinäiset laitteistot	20
3.2 Ödometrikoe	23
3.3 Pehmeäseinäinen vedenläpäisevyyslaitteisto	25
3.4 Jäykkäseinäisten ja pehmeäseinäisen menetelmien vertailu	30
3.5 Vedenläpäisevyyden määrittämien osittain kyllästyneille näytteille	31
4 VEDENLÄPÄISEVYYTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ	33
4.1 Partikkelien kokojakauma / rakeisuus	33
4.2 Vesipitoisuus ja tiivistysaste	36
4.3 Atterbergin rajat	40
4.4 Läpäisyneste	42
4.5 Näytteen koko	42
4.6 Lämpötila	43
5 IN SITU -MITTAUSMENETELMÄT	44
5.1 Pumppauskoe kaivosta	44
5.2 Vedenläpäisevyyden mittaus maahan poratusta reiästä tai putkesta	45
5.3 Infiltrimetrit	50
5.3.1 Avoin yksirengasinfiltrometri	50
5.3.2 Suljettu yksirengasinfiltrometri	51
5.3.3 Air-Entry Permeameter (AEP)	52
5.3.4 Avoin kaksirengasinfiltrometri	54
5.3.5 Suljettu kaksirengasinfiltrometri	54

6 LABORATORIO- JA MAASTOMITTAUKSET	57
6.1 Koemateriaalit	57
6.2 Laboratoriotutkimukset	58
6.2.1 Rakeisuus	58
6.2.2 Proctorkoe	58
6.2.3 Tiivistävyyskoe IC-laitteella	59
6.2.4 Vedenläpäisevyyden määrittäminen pehmeäseinäisellä laitteistolla	59
6.2.5 Vedenläpäisevyyden määrittäminen jäykkäseinäisellä laitteistolla	62
6.2.6 Vedenläpäisevyyden määrittäminen CRS-ödometrikokeella	62
6.3 Koekohteissa tehdyt maastomittaukset	63
6.3.1 Putkialenemamittaukset	63
6.3.2 Infiltratimetrimittaukset	64
7 TULOSTEN TARKASTELU	67
7.1 Rakeisuuden vaikutus laboratoriossa mitattuun vedenläpäisevyyteen	67
7.2 Parannettu proctorkoe ja tiivistävyyskoe IC-laitteella	71
7.3 Pehmeäseinäisellä laitteistolla tehdyt kokeet	75
7.3.1 Tiiviyssasteen ja tiivistäyksen aikaisen vesipitoisuuden vaikutus laboratoriossa mitattuun vedenläpäisevyyteen	75
7.4 CRS-kokeiden tulokset	79
7.5 Maastomittausten tulokset	80
7.6 Maastomittausten ja laboratoriomittausten välinen ero	82
8 YHTEENVETO	84
9 KIRJALLISUUS	88
LIITELUETTELO	91

MERKINNÄT

a	byretin poikkileikkauksen pinta-ala [cm^2 , m^2]
c	muotokerroin Taylorin kaavassa [-]
c	vakio Hazen'in kaavassa [-]
c_v	konsolidaatiokerroin [m^2/a]
d	keskimääräinen raekoko [mm]
d_s	tehokas raekoko [mm]
d_{10}	tehokas raekoko (10 % läpäisyä vastaava) [mm]
d_{50}	keskimääräinen raekoko [mm]
e	huokosluku [-]
f_k	empiirinen kerroin Taylorin kaavassa [-]
g	maan vetovoiman kiihtyvyys [m/s^2]
h	näytteen korkeus, painekorkeus [m]
h_1	vesipatsaan alkukorkeus (putkialenemamittauksessa) [m]
h_2	vesipatsaan loppukorkeus (putkialenemamittauksessa) [m]
Δh	painekorkeuden muutos [m]
i	hydraulinen gradientti [-]
k	hydraulinen johtavuus (vedenläpäisevyyskerroin) [m/s]
k_T	vedenläpäisevyyskerroin lämpötilassa T [m/s]
k_v	pystysuora vedenläpäisevyyskerroin [m/s]
k_0	ominaisläpäisevyys [m^2]
k_1	vedenläpäisevyyskerroin lämpötilassa T_1 [m/s]
k_2	vedenläpäisevyyskerroin lämpötilassa T_2 [m/s]
$k_{20^\circ\text{C}}$	vedenläpäisevyyskerroin lämpötilassa $+20^\circ\text{C}$
n	materiaalin huokoisuus [-]
p	paine [kPa]
q	virtaama [m^3/s]
q_j	tilavuusvirran komponentti suuntaan x_j [m^3/s]
t	mittausaikaväli [s]
t	lämpötila [$^\circ\text{C}$]
u_b	huokosvedenpaine [kPa]
u_1	etupaine [kPa]
u_2	takapaine [kPa]
Δu	huokosvedenpaineen muutos näytteessä [kPa]
v	(virtauksen) nopeus [m/s]
w	maan vesipitoisuus (kuivasta massasta) [%]
x	virtausmatka [m]
x_j	j:s karteesinen koordinaatti
z	pystysuora koordinaatti
Δz	virtauspolun pituus [m]
A_c	aktiivisuus [-]
A	näytteen pinta-ala, virtauksen poikkileikkausala [m^2]
B	huokospaineparametri [-]
C	savipitoisuus [%]
C_c	kaarevuussuhde [-]

MERKINNÄT

C_u	raekokosuhte [-]
D	tiiviysaste [%]
F	korjauskerroin (muotokerroin) infiltraatiokaavassa [-]
H	suhteellinen kosteus [%]
H	näytteen korkeus [m]
H	painekorkeus vakiopainekokeessa [m]
H	vedenpinnan korkeus maasta infiltraatiokokeessa [m]
H_s	imupaine infiltraatiokokeessa [kPa]
H_1	vedenpinnan alkulukema [m]
H_2	vedenpinnan loppulukema [m]
I	infiltraatio [m/s]
I_p	plastisuusluku [-]
K_{ij}	hydraulisen läpäisevyyden tensori, paineen funktio
M	kokoonpuristuvuusmoduuli [kPa]
M	veden molekyylipaino [mol]
P_a	paine, jossa ilma virtaa maahan (AEP) [kPa]
P_{max}	maksimipaine (AEP) [kPa]
P_w	imupaine kosteusrintamassa [kPa]
Q	näytteen läpi ajassa t virrannut vesimäärä, imeytyneen veden tilavuus [m ³]
R	Reynoldsin luku [-]
R	yleinen kaasuvakio [-]
R_1	metalliputken sisäsäde putkialenemamittauksessa [m]
R_2	muoviputken sisäsäde putkialenemamittauksessa [m]
S_r	maan kyllästysaste [%]
T	lämpötila [°C]
V	kokonaistilavuus [m ³]
V_s	maa-aineksen tilavuus [m ³]
V_v	huokosten tilavuus [m ³]
V_w	huokosveden tilavuus [m ³]
Z	tiivistekerroksen paksuus [m]
Z_w	kosteusrintaman syvyys (AEP) [m]
α	lämpötilakerroin [-]
γ	maan märkätilavuuspaino [kN/m ³]
γ_w	huokosveden tilavuuspaino [kN/m ³]
de/dt	muodonmuutosnopeus CRS-kokeessa [1/min]
θ	tilavuusvesipitoisuus [%]
μ	neste dynaaminen viskositeetti [Ns/m ²]
μ_1	neste dynaaminen viskositeetti lämpötilassa t_1 [Ns/m ²]
μ_2	neste dynaaminen viskositeetti lämpötilassa t_2 [Ns/m ²]
ρ	neste tiheys [g/cm ³]
ρ_d	maan kuivairtitiheys [g/cm ³]
ρ_w	veden tiheys [g/cm ³]
σ'_3	tehokas jännitys [kPa]
σ_3	sellipaine [kPa]
$\Delta\sigma$	näytettä ympäröivän paineen muutos [kPa]

Tällä hetkellä voimassa olevat Tielaitoksen ohjeet pohjavesisuojauksista sisältyvät Tierakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset (TYLT)

osaan Penger- ja kerrosrakenteet (1994) ja Pohjaveden suojaus tien kohdalla -ohjeeseen (1993).

Tielaitoksen pohjavesisuojausohjeessa maatiivistemateriaaleille asetetaan rakeisuutta ja tiiviyyttä koskeva vaatimus. Tiiviys- ja rakeisuusvaatimukset erikoismaatiivisteille on esitetty taulukossa 1 ja maatiivisteille taulukossa 2.

Taulukko 1. Erikoismaatiivisteiden vaatimukset [TYLT 1994].

VAATIMUS	MAALAJI		
	SAVI, SILTTI, SILTITIMOREENI	SAVI, SILTTI, SILTITIMOREENI	MUUT MAALAJIT
HIENOAINESPITOISUUS # 0,074 (%)	>70	>60	--
PROCTOR TIIVIYASTE D (%)	>85	>90	--

Taulukko 2. Maatiivisteiden vaatimukset [TYLT 1994].

VAATIMUS	MAALAJI	
	SAVI, SILTTI, SILTITIMOREENI	SAVI, SILTTI, SILTITIMOREENI
HIENOAINESPITOISUUS # 0,074 (%)	>50	>60
PROCTOR TIIVIYASTE D (%)	>90	>85

Näiden lisäksi erikoismaatiivisteeksi voidaan hyväksyä selvitysten perusteella muukin materiaali, joka täyttää seuraavat vaatimukset:

- vedenläpäisevyys on laboratoriokokeessa pienempi kuin $5 \cdot 10^{-8}$ m/s
- ei halkeile voimakkaasti kuivuessaan
- vedenläpäisevyys tiivistettynä luiskassa on alle $5 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Ohje on tehty tutkimuksen pohjalta [Rathmayer, Juvankoski 1991], jossa on tutkittu valmiita pohjavesisuojausyksiköitä viidessä eri kohteessa. Tutkimuksessa materiaaleille on määritetty vedenläpäisevyys sekä maastossa että laboratoriossa ja ohjeessa esiintyvät raja-arvot on määritetty näiden tulosten perusteella. Rakenteissa tavoiteltu vedenläpäisevyyden arvo $5 \cdot 10^{-6}$ m/s perustuu 12 tunnin läpäisyvaatimukseen 0,7 m tiivistekerrokselle, kun kuormittavan vesikerroksen paksuus on 0,3 m. [Rathmayer, Juvankoski 1991].

Uusimman suosituksen mukaan ei taulukon 2 mukaisia maatiivisteitä suositella käytettäväksi, vaan tiivistekerrokset tulisi tehdä taulukon 1 mukaisilla erikoismaatiivisteiden vaatimukset täyttävillä materiaaleilla [Tietoa tiensuunnitteluun 24].

1.2 Tutkimuksen tarkoitus

Maatiivisteen toiminnan kannalta tärkein ominaisuus on pieni vedenläpäisevyys todellisessa rakenteessa. Kirjallisuustutkimuksen tarkoituksena on selvittää yleisimpiä käytössä olevia vedenläpäisevyyden laboratorio- ja maastomittausmenetelmiä.

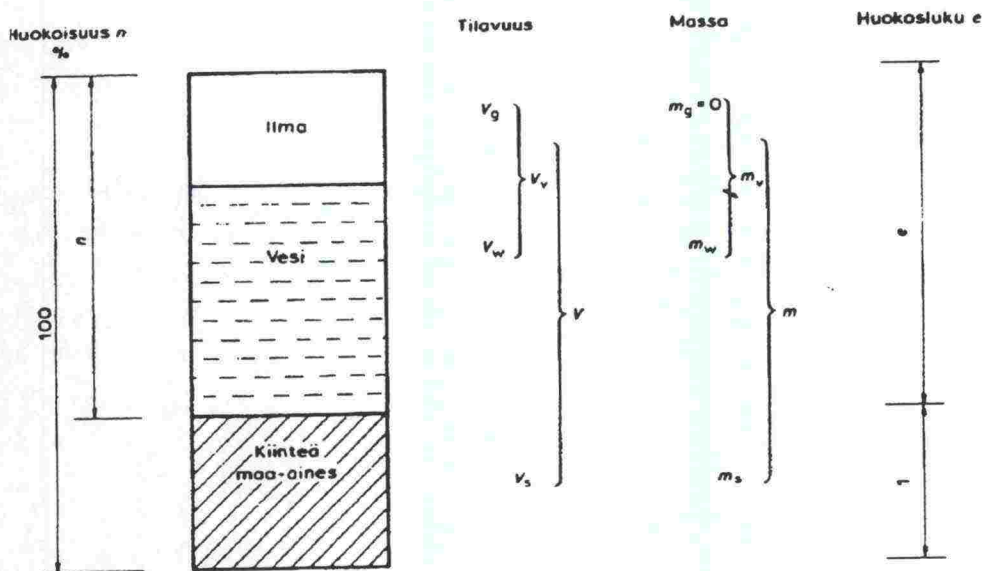
Laboratoriossa ja maastossa määritetyt vedenläpäisevyyden arvot eivät aina vastaa toisiaan. Tässä tutkimuksessa pyritään etsimään syitä tulosten erilaisuuteen ja tarkentamaan tavanomaisten laboratorio- ja in situ -mittausten vertailukelpoisuutta. Lisäksi pyritään saamaan selville, mitkä materiaalin ominaisuudet tiiviyn ja raekokojakauman lisäksi vaikuttavat vedenläpäisevyyteen.

Työssä on tutkittu todellisissa teiden pohjavesisuojauskohteissa käytettyjä tai niihin ehdolla olleita mineraalisia maatiivisteitä. In situ -mittaukset on tehty todellisissa pohjavesisuojauskohteissa. Tutkimuksessa maatiivistemateriaaleja tarkastellaan tämänhetkisen Tielaitoksen ohjeiden mukaisten kriteerien pohjalta. Tutkimuksessa tarkastellaan, miten nämä kriteerit toteutuvat tutkituilla materiaaleilla ja rakenteilla.

2 VEDENLÄPÄISEVYYSTEORIA

2.1 Käsitteitä

Maa koostuu kolmesta eri komponentista: kiinteästä maa-aineksesta, huokosvedestä ja -ilmasta. Eri komponenttien suhteita kuvaavat merkinnät on esitetty kuvassa 2 [Lojander 1985].



Kuva 2. Maan eri komponenttien väliset tilavuussuhteet [Lojander 1985].

Kuvan merkinnöillä voidaan esittää useita maalajin ominaisuuksia, esimerkiksi huokoisuus n ,

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (1)$$

missä V_v on huokosten tilavuus
 V näytteen kokonaistilavuus,

huokosluku e ,

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2)$$

missä V_s on maa-aineksen tilavuus.

Maan kyllästysaste S_r määritetään maan huokosissa olevan veden tilavuuden ja huokosten tilavuuden suhteena

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \quad (3)$$

missä V_w on huokosveden tilavuus
 V_v huokosten tilavuus.

Vedenläpäisevyyttä laskettaessa maa oletetaan yleensä täysin vedellä kyllästetyksi. Laboratoriokokeissa näytteet pyritään kyllästämään ennen varsinaista vedenläpäisevyyden mittausta, jolloin näytteessä oleva ilma ei vaikuta veden virtausnopeuteen näytteessä.

Kun tutkittava maa on pohjavedenpinnan yläpuolella, ei yleensä voida olettaa maata täysin vedellä kyllästyneeksi. Tilavuusvesipitoisuus θ määritetään veden tilavuuden ja maan kokonaistilavuuden suhteena. Tilavuusvesipitoisuus voidaan ilmoittaa myös huokosluvun tai huokoisuuden avulla

$$\theta = \frac{V_w}{V} = \frac{S_r e}{1 + e} = S_r n \quad (4)$$

missä V_w on veden tilavuus
 V näytteen kokonaistilavuus.

Kun materiaali on täysin kyllästetty, tilavuusvesipitoisuus on yhtä suuri kuin materiaalin huokoisuus n . Tilavuusvesipitoisuuden ja massoihin perustuvan vesipitoisuuden välinen suhde on

$$\theta = \frac{w \rho_d}{\rho_w} \quad (5)$$

missä ρ_d on maan kuivairtitiheys
 ρ_w veden tiheys
 w massoihin perustuva vesipitoisuus [Vanapalli et al 1996].

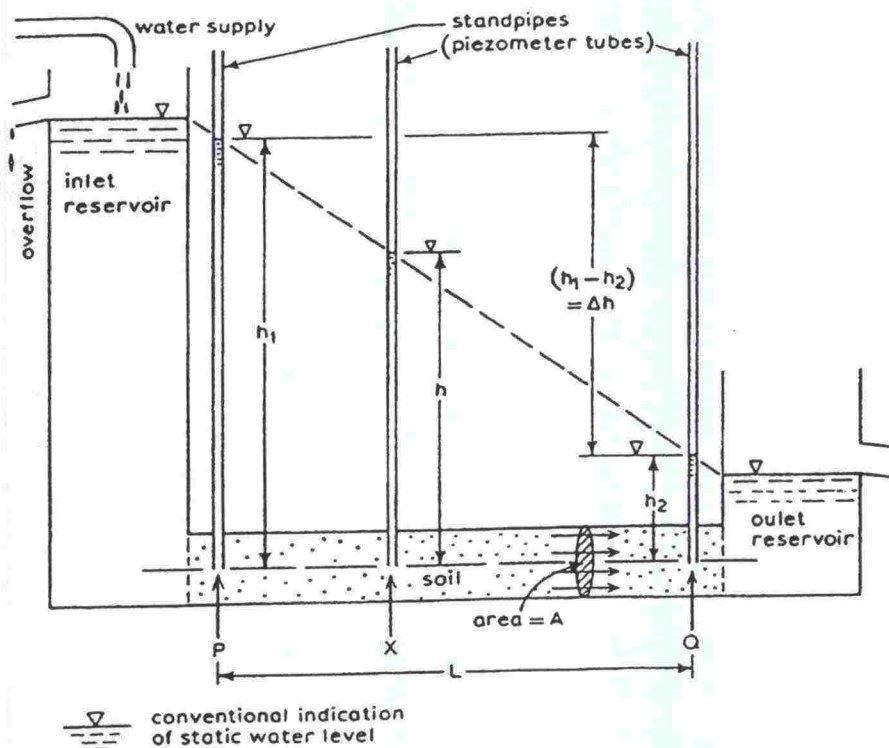
2.2 Vedenläpäisevyys täysin vedellä kyllästyneessä maassa

Veden virtausta täysin vedellä kyllästyneessä maassa voidaan käsitellä Darcyn lain avulla. Darcyn laki perustuu kokeellisiin havaintoihin virtausnopeuden ja voiman lineaarisesta suhteesta ja se voidaan kirjoittaa useassa eri muodossa. Yleisin muoto on

$$q = -kiA \quad (6)$$

missä	q	on	virtaama
	i		hydraulinen gradientti, $i = \Delta h/H$
	Δh		kokonaispainekorkeuden muutos
	H		näytteen korkeus /virtauspolun pituus
	A		virtauksen poikkileikkausala
	k		hydraulinen johtavuus (vedenläpäisevyyskerroin)

Hydraulinen gradientti määritellään kokonaispainekorkeuden muutoksena tietyllä matkalla. Merkinnät on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Veden virtaus maassa, gradientin määrittely [Head 1982].

Kaavassa (6) hydraulinen läpäisevyyskerroin k riippuu sekä läpäisevän nesteen että huokoisen väliaineen ominaisuuksista. Ainoastaan väliaineesta riippuva hydraulinen läpäisyvakio eli ominaisläpäisevyys saadaan ottamalla huomioon läpäisevän nesteen ominaisuudet:

$$k = k_0 \frac{\gamma_w}{\mu_w} \quad (7)$$

missä	k_0	on	ominaisläpäisevyys
	γ_w		nesteen tilavuuspaino
	μ_w		nesteen dynaaminen viskositeetti.

Vaihtoehtoisesti voidaan siis Darcyn laki esittää muodossa

$$q = -k_0 \frac{\gamma_w}{\mu_w} i A \quad (8)$$

missä γ_w on nesteen tilavuuspaino
 μ_w nesteen dynaaminen viskositeetti
 k_0 ominaisläpäisevyys
 A poikkileikkausala

tai

$$q = -\frac{k}{\mu} \frac{dp}{dx} A \quad (9)$$

missä p on paine
 x virtausmatka.

Darcyn lain mukaan maalajin vedenläpäisevyydellä tarkoitetaan isotrooppisessa maassa virtaavan veden nopeutta, kun hydraulinen gradientti on ykkösen suuruinen. Darcyn laki on voimassa ainostaan, kun virtaus on laminaarisesta. Virtauksen muuttumista laminaarisesta turbulenttiseksi voidaan määritellä Reynoldsin luvulla R :

$$R = \frac{vd\rho}{\mu} \quad (10)$$

missä v on virtauksen keskimääräinen nopeus
 d maapartikkelien keskimääräinen halkaisija
 ρ nesteen tiheys
 μ nesteen dynaaminen viskoositeetti.

Reynoldsin luvun kriittinen arvo eli arvo, jossa virtaus muuttuu laminaarisesta turbulenttiseksi, on välillä 1–12. Darcyn lain voidaan olettaa olevan voimassa kun Reynoldsin luku on ykkönen tai sitä pienempi. [Cedergren 1967]

Pohjavesisuojausohjeen mukaiselle maatiivisteelle, jonka $d_{50} = 0,06$ mm, vedenläpäisevyys on $5 \cdot 10^{-8}$ m/s ja gradientti $i = 1$, saadaan Reynoldsin luvuksi +20 °C lämpötilassa, kun läpäisevä neste on vettä

$$R = \frac{5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s} \times 0,06 \times 10^{-3} \text{ m} \times 1000 \text{ kg/m}^3}{10^{-3} \text{ Ns/m}^2} = 3 \cdot 10^{-6}$$

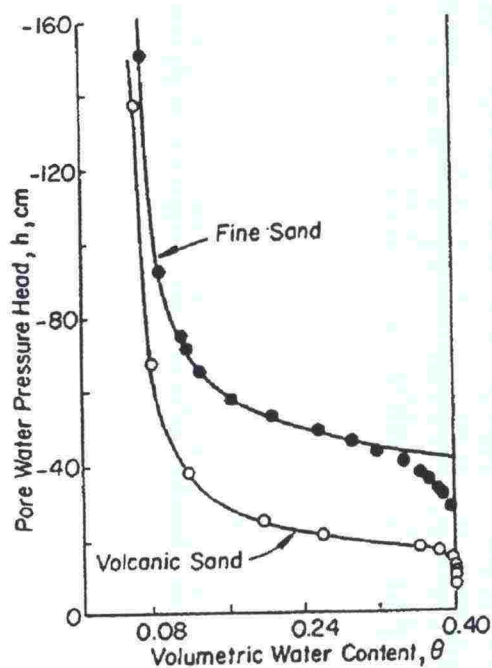
Näin ollen voidaan olettaa Darcyn lain olevan voimassa maatiivisteille.

2.3 Vedenläpäisevyys osittain vedellä kyllästyneessä maassa

Osittain kyllästyneessä maassa huokosilmanpaine on suurempi kuin huokosvedenpaine. Kun vesi liikkuu materiaalielementiin ja siitä pois, se aiheuttaa samalla vastaavan tilavuuden muutoksen elementin ilmamäärässä ja näin ollen myös tilavuudellisessa vesipitoisuudessa. [McWhorter 1985]

Oletetaan, että ilmanpaine on vakio ja ilmanpaineen taso vertailutaso eli nolla. Tällöin vedenpaine kyllästämättömässä huokoisessa tilassa on negatiivinen vertailutasoon nähden. Veden ja ilman erilaiset paineet tasoittuvat rajapinnoissa kaarevaan pintaan kohdistuvan pintajännityksen vaikutuksesta. Jotta pintavoimat olisivat tasapainossa, on rajapinnan oltava sitä kaarevampi, mitä enemmän vedenpaine pienenee ilmanpaineeseen nähden. Prosessin makroskooppinen ilmentymä on havaittu suhteena huokosvedenpaineen ja tilavuudellisen vesipitoisuuden välillä. Tyypillinen suhde huokosvedenpaineen (h) ja tilavuudellisen vesipitoisuuden välillä on esitetty kuvassa 4.

Huokosvedenpaineen ja tilavuudellisen vesipitoisuuden välinen suhde vaihtelee suuresti eri materiaaleilla. Yleensä vesipitoisuus on tietyllä huokosvedenpaineella suurempi hienorakeisilla maalajeilla kuin karkearakeisilla maalajeilla, mikäli muut tekijät ovat samat. [McWhorter 1985]



Kuva 4. Hienon ja karkean hiekan huokospaineen ja tilavuusvesipitoisuuden välinen suhde [McWhorter 1985].

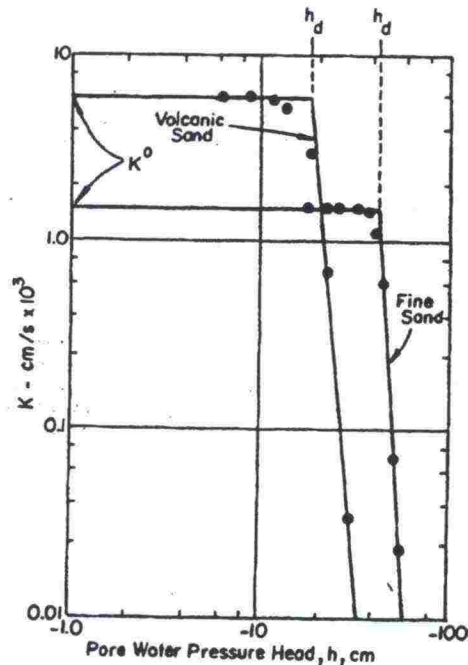
Veden tilavuusvirta kyllästymättömässä huokoisessa aineessa saadaan Darcyn laista

$$q_j = -K_{ij} \left(\frac{\partial h}{\partial x_j} + \frac{\partial z}{\partial x_j} \right), \quad i, j = 1, 2, 3 \quad (11)$$

missä q_j on tilavuusvirran komponentti suuntaan x_j
 K_{ij} hydraulisen läpäisevyyden tensori, painekorkeuden funktio
 x_j j:s karteesinen koordinaatti
 z pystysuora koordinaatti
 h painekorkeus

Yhtälö soveltuu anisotrooppisen, kyllästyneen ja kyllästymättömän huokoisen aineen virtaukselle. Hydraulisen virtauksen tensori K_{ij} on huokosvedenpaineen funktio kyllästymättömässä maassa.

Isotrooppisessa, kyllästymättömässä huokoisessa aineessa hydraulinen läpäisevyys on huokosvedenpaineen funktio. Kuvassa 5 on esitetty tyypillinen suhde vedenläpäisevyyden ja huokosvedenpaineen välillä kahdelle erilaiselle hiekalle. [McWhorter 1985]



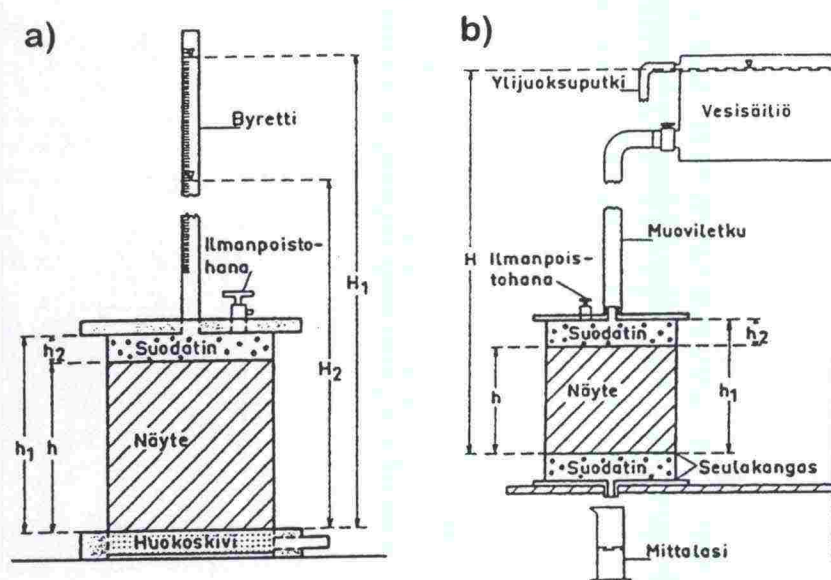
Kuva 5. Vedenläpäisevyyden ja huokosvedenpaineen suhde kahdelle hiekalle [McWhorter 1985].

3 VEDENLÄPÄISEVYYDEN MÄÄRITTÄMINEN LABORATORIOSSA

3.1 Jäykkäseinäiset laitteistot

Yleisin vedenläpäisevyyden mittaamenetelmä laboratoriossa on laitteisto, joissa näyte tiivistetään jäykkäseinäiseen sylinteriin. Sylinteri voi olla valmistettu metallista, muovista tai lasista ja on yleensä aina lieriön muotoinen. Läpäisevä neste virtaa näytteen akselin suuntaisesti joko ylhäältä alas tai alhaalta ylös. Ylöspäin nousevaa virtausta voidaan käyttää ilman poistamiseen näytteestä.

Jäykkäseinäisiä laitteistoja on useaa eri tyyppiä. Vedenläpäisevyyden mittaus voidaan tehdä vakiopaine- tai muuttuvapainekokeena. Vakiopainekokeessa sisään menevän veden pinta on koko kokeen ajan samalla korkeudella ja näytteen läpi tulevan veden määrää mitataan. Vakiopaine voidaan saada aikaiseksi ylivuotosäiliöllä, jossa veden pinta pysyy koko ajan samalla tasolla. Vaihtoehtoisesti sisään menevän veden säiliö voi olla niin suuri, ettei veden pinta laske merkittävästi kokeen aikana. Muuttuvapainekokeessa mitataan yleensä vain näytteeseen menevän veden pinnan alenemista mittaputkessa. Mittaamalla myös näytteen läpi tulevan veden määrää voidaan arvioida, milloin virtaus on tasaantunut. Laitteistot on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Jäykkäseinäisiä laitteistoja: a) muuttuvapainekoe, b) vakiopainekoe [TVH 1970].

Menetelmässä ei yleensä voida käyttää takapainetta, joten näytteen täydellinen vedellä kyllästyminen ei ole varmaa. Kokeen onnistumiseksi maanäytteen on oltava tiiviisti sellin seinämää vasten näytteen ja muotin seinämän välisen

virtauksen vähentämiseksi. [Rowe et al 1995]. Maalajeilla, joiden vedenläpäisevyys on kohtalaisen suuri, ei näytteen ja seinämän välistä tapahtuva vuoto ole merkittävä. Kun maalajin vedenläpäisevyys on pieni, voi suuri osa virtauksesta tapahtua seinämän ja näytteen välistä, eikä koejärjestely näin mittaa näytteen läpimenevää vettä. Ilmiötä voidaan estää käsittelemällä sylinterin seinämät esimerkiksi bitumiliimalla ennen näytteen tekemistä.

Yleisin jäykkäseinäisessä menetelmässä käytetty näytesylinteri on tiivistysmuotti, esimerkiksi proctormuotti. Näyte tiivistetään muottiin haluttuun tiiviuteen halutulla tiivistysmenetelmällä, jonka jälkeen tehdään vedenläpäisevyyskoe. Menetelmää voidaan käyttää maalajeilla, joiden rakeisuus vaihtelee sorasta saveen. [Daniel 1994]. Parhaiten menetelmä sopii karkearakeisille maalajeille.

Häiriintymättömälle näytteelle vedenläpäisevyyskoe voidaan tehdä myös näytteenottoputkessa. Jos näyte sisältää karkearakeisia lajitteita tai on erittäin tiivistä ja/tai jäykkää, seinämän ja näytteen välistä vuotoa tapahtuu helposti. Tämä voi aiheutua myös näyteputken muotoilusta: usein putken alapään halkaisija on hieman pienempi kuin yläpään. Menetelmä soveltuu vain pehmeille maalajeille ja näytteenottoputkelle, jonka halkaisija on vakio [Daniel 1994].

Sellin pohjalevy voi olla rakennettu siten, että näytteen keskiosassa ja reunoilla tapahtuva virtaus on mitattavissa erikseen. Mahdollinen vuoto näytteen ja sylinterin seinämän välillä voidaan havaita. Jos mittaustulokset eroavat, voidaan joko hyväksyä sisemmän renkaan mittaustulos oikeampana tai hylätä koko koe epäonnistuneena.

Jäykkäseinäistä menetelmää käytetään Suomessa useissa laboratorioissa. Muottina käytetään yleensä proctormuottia ja koe voidaan tehdä joko vakioaine- tai muuttuvapainekokeena.

Vakioaineekokeessa vedenläpäisevyyskerroin lasketaan kaavalla 12

$$k_T = \frac{Q h}{t A H} \quad (12)$$

missä	Q	on	näytteen lävitse ajassa t virrannut vesimäärä
	t		havaintoaika
	h		näytteen korkeus
	A		näytteen pinta-ala
	H		painekorkeus

Merkinnät on esitetty myös kuvassa 6.

Kun koe tehdään muuttuvapainekokeena vedenläpäisevyys saadaan kaavalla 13:

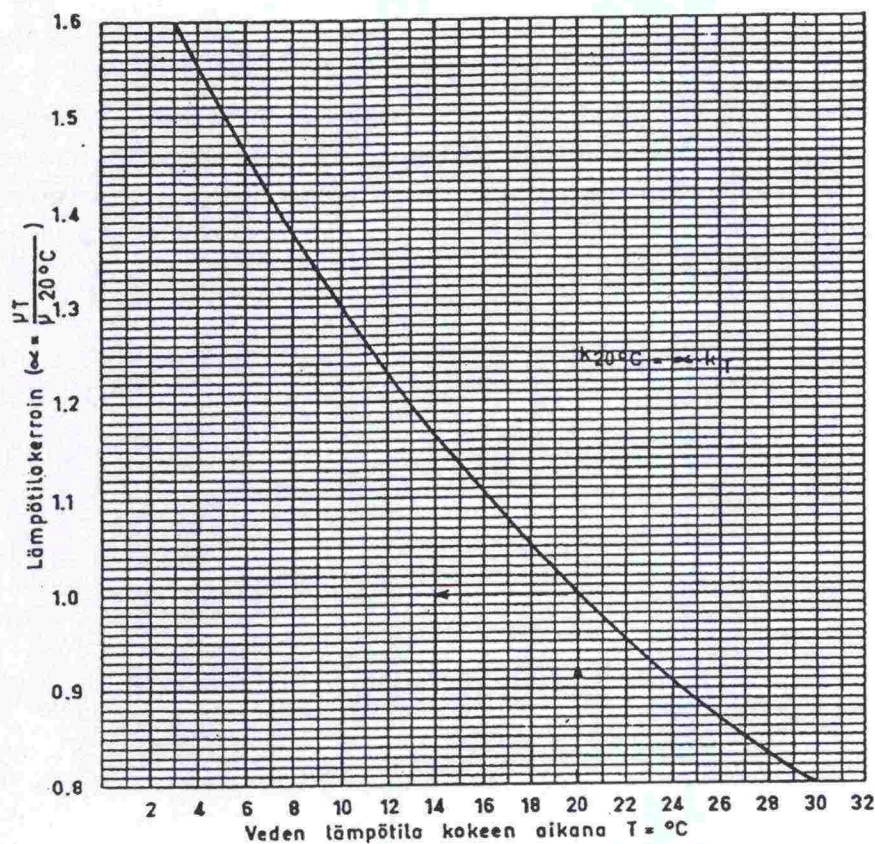
$$k_T = 2,3 \frac{a h}{A t} \log \frac{H_1}{H_2} \quad (13)$$

missä H_1 on vedenpinnan alkulukema
 H_2 vedenpinnan loppulukema
 a byretin poikkileikkauksen pinta-ala.

Vedenläpäisevyyserroin ilmoitetaan aina +20°C lämpötilassa. Korjattu arvo saadaan kaavoista 12 ja 13 tekemällä lämpötilakorjaus:

$$k_{20^\circ\text{C}} = \alpha k_T \quad (14)$$

missä α on korjauserroin kuvasta 7
 $k_{20^\circ\text{C}}$ vedenläpäisevyyserroin lämpötilassa 20°C
 k_T vedenläpäisevyyserroin lämpötilassa T [TVH 1970].



$k_{20^\circ\text{C}}$ = vedenläpäisevyys lämpötilassa 20 °C
 k_T = vedenläpäisevyys lämpötilassa T
 $\nu_{20^\circ\text{C}}$ = veden viskositeetti lämpötilassa 20 °C
 ν_T = veden viskositeetti lämpötilassa T
 α = lämpötilakerroin

Kuva 7. Vedenläpäisevyyserroimen korjauserroin [TVH 1970].

TÉKES:in suosituksessa vedenläpäisevyyden mittaussuomenetelmiksi (1995) on korjauskertoimelle esitetty kaava

$$\alpha = -0,02452 \cdot T + 1,495 \quad (15)$$

missä T on lämpötila kokeen aikana.

Kun lämpötila ei eroa paljon $+20^{\circ}\text{C}$:sta, kaavalla 15 saadaan korjauskertoimen arvoksi samoja lukuja kuin kuvasta 7.

Menetelmän soveltuvuus

Jäykkäseinäisessä sellissä tehdyllä vedenläpäisevyyssuokeella saadaan yleensä luotettavia k -arvoja, kun koejärjestelyt on tehty huolellisesti ja kun tutkittavan materiaalin vedenläpäisevyys on suurempi kuin 10^{-7} m/s. Jos vedenläpäisevyys on tätä pienempi, erilaisten virhetekijöiden vaikutukset korostuvat.

Kokeen aikana vesi voi pyrkiä virtaamaan näytteen ja sellin seinämän välistä. Tämä ongelma voi esiintyä varsinkin, jos näyte on tiivistetty optimivesipitoisuutta pienemmässä vesipitoisuudessa tai näyte on karkearakeinen. Jos näytettä puristetaan akselinsa suunnassa, kuten ödometrikokeessa, näyte tiivistyy paremmin sellin seinämää vasten. Pystysuoraa voimaa ei kuitenkaan voida saada aikaan kaikissa laitteistoissa. Varsinkin karkearakeisella näytteellä sellin ja näytteen välisen tiiviyn saavuttamiseksi pystysuoran jännityksen tulisi olla suuri.

Useimmilla maalajeilla saavutetaan noin 95 % kyllästysaste, kun näyte on tiivistetty noin 2 % standardi proctorkokeesta saatavaa optimivesipitoisuutta suuremmassa vesipitoisuudessa. Koska useimmissa jäykkäseinäisissä selleissä tehtävissä kokeissa ei voida käyttää takapainetta, koe tehdään näytteellä, joka ei ole täysin vedellä kyllästynyt. Tämä aiheuttaa epätarkkuutta lopputuloksissa. [Rowe et al 1995]

Jäykkäseinäisillä vedenläpäisevyyssuokelaitteistoilla tehtävissä kokeissa on suositeltavaa käyttää pientä, in situ -arvoa vastaavaa gradienttia. Suurempi gradientti antaa kuitenkin oikeita vedenläpäisevyyden arvoja, jos näyte on vedellä kyllästetty eikä huokosvedenpaine aiheuta konsolidoitumista ja siten huokosluvun ja k -arvon pienenemistä. [Rowe et al 1995]

3.2 Ödometrikoe

Häiriintymättömän savinäytteen vedenläpäisevyyttä voidaan arvioida ödometrikokeesta saatavan konsolidaationopeuden perusteella. Koe voidaan tehdä myös häiritylle savelle, jos se voidaan muotoilla ödometritrenkaaseen. Vedenläpäisevyyden määrittämiseksi ödometrikoe tehdään tavalliseen tapaan joko

portaittaisena STD-kokeena tai jatkuvapuristeisena CRS-kokeena. [Kolisoja 1986]

Yleisimmin käytettyjä yksiulotteisia konsolidaatioteorioita ovat Terzaghin teoria ja Janbun teoria. Terzaghin teoriassa konsolidaatiokerroin c_v saadaan kaavalla (16) [Maanvarainen penger savikolla 1994].

$$c_v = \frac{Mk}{\gamma_w} \quad (16)$$

missä	M	on	kokoonpuristuvuusmoduuli (sekanttmoduuli) ko.
			jännitysvälillä
	k		vedenläpäisevyyskerroin
	γ_w		huokosveden tilavuuspaino

Kaavan 16 merkinnöin vedenläpäisevyyskerroin k on

$$k = \frac{c_v \gamma_w}{M} \quad (17)$$

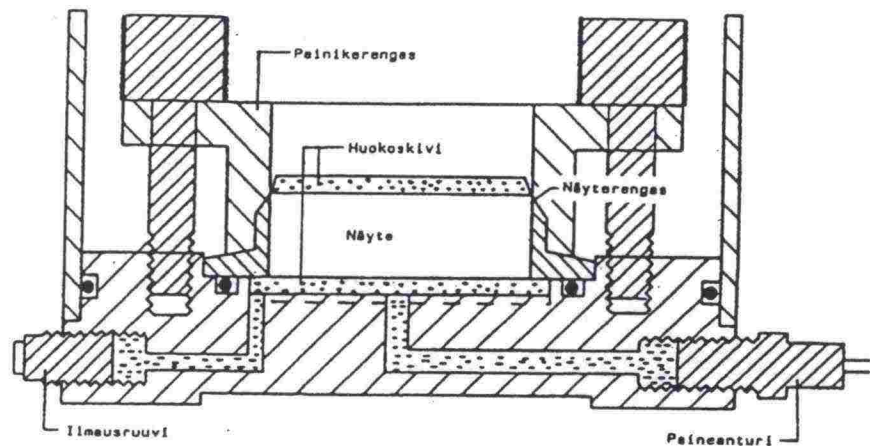
Portaittaisesta ödometrikokeesta konsolidaatiokerroin ja kokoonpuristuvuusmoduuli määritetään graafisesti. Konsolidaatiokerroin voidaan määrittää esimerkiksi Casagranden tai Taylorin menetelmällä [Tammirinne 1975].

Jatkuvapuristeisessa ödometrikokeessa vedenläpäisevyyskerroin saadaan suoraan automatisoidun laitteiston listauksesta, johon ohjausohjelma on laske-
nut sen kaavalla

$$k = \frac{d\varepsilon}{dt} \frac{g\rho_w h^2}{2u_b} \quad (18)$$

missä	$d\varepsilon/dt$ on	muodonmuutosnopeus
	g	maan vetovoiman kiihtyvyys
	ρ_w	veden tiheys
	h	näytteen korkeus
	u_b	huokosvedenpaine [Kolisoja 1986]

Automaattisessa ödometrikokeessa käytettävä selli on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Ödometriselli [Kolisoja 1986].

Vedenläpäisevyys voidaan määrittää myös konsolidointivaiheen jälkeen. Tällöin ödometrisellin on oltava muunneltu siten, että vesi voi virrata näytteen läpi. Vedenläpäisevyys voidaan mitata joko vakio- tai muuttuvapainekokeena.

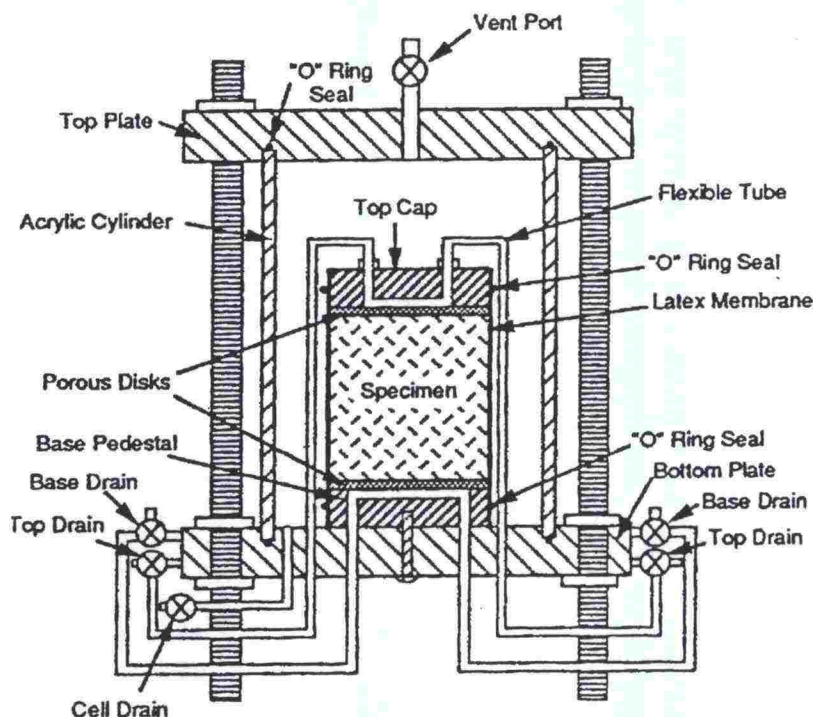
Vedenläpäisevyyden määrittäminen ödometrikokeella sopii vain hienorakeisille, häiriintymättömille näytteille. Kokeessa voidaan käyttää pystysuoraa painetta, joka aiheuttaa näytteen tiivistymisen renkaan seinämää vasten ja näin näytteen ja renkaan välinen virtaus ei pääse kasvamaan suureksi. Näytteen pieni korkeus vaikuttaa näytteen edustavuuteen.

Jos näytteet ovat riittävän pehmeitä, k-arvojen laskeminen ödometrikokeiden tulosten perusteella toimii suuruusluokan tarkistuksena. Ödometrikokeista saatavat k-arvot eivät kuitenkaan ole niin luotettavia kuin varsinaisista vedenläpäisevyyskokeista saatavat tulokset. [Rowe et al 1995], [Daniel et al 1985], [Daniel 1994], [Olson, Daniel 1981]

Tässä tutkimuksessa saviin on vedenläpäisevyyksiä on määritetty CRS-kokeen tuloksien perusteella. Käytetty koejärjestely on esitetty tarkemmin luvussa 6.

3.3 Pehmeäseinäinen vedenläpäisevyyslaitteisto

Vedenläpäisevyyskokeessa käytettävä selli eroaa tavallisesta kolmiaksisiaalisesta vain siten, että veden virtaus näytteen läpi on mahdollista, eikä kuormitusmäntää tarvita. Pehmeäseinäistä selliä käytettäessä näyte on kumikalvon sisällä ja näytteen molemmissa päissä on huokoskivi kuten kolmiaksisiaalikokeessa. Laitteisto on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Pehmeäseinäinen vedenläpäisevyyslaitteisto [Rowe et al 1995].

Menetelmä on ollut Suomessa käytössä muutaman vuoden ajan. Useat laboratoriot ovat hankkineet laitteiston tiivistemateriaalien tutkimuksia varten. Menetelmäkuvaus on esitetty TEKES:in julkaisussa [TEKES 1994].

Laitteiston huomattavin etu on takapaineen käyttömahdollisuus. Takapaine tarkoittaa sekä sisään menevän että ulos tulevan veden paineistamista. Kyllästysvaiheessa etu- ja takapaine asetetaan lähes yhtä suuriksi. Näytteessä olevan huokosveden paineistaminen vähentää siinä olevan ilman tilavuutta puristamalla ilmakuplia kokoon ja liuottamalla ilmaa huokosveteen. Näin näyte saadaan lähes täysin vedellä kyllästetyksi. [Rowe et al 1995]

Laitteistossa gradientti saadaan aikaiseksi etu- ja takapaineen välisellä erotuksella. Etu- ja takapaineen välinen ero täytyy kuitenkin olla pienempi kuin sellipaine, että kumikalvo pysyy tiiviisti näytteen seinämää vasten. Sellipaineen rajoitukset estävät yleensä suuren gradientin käytön, joten näytteen kyllästymiseen ja itse kokeen tekemiseen voi kulua useita viikkoja. Tämän takia pehmeäseinäinen selli ei sovellu näytteille, joiden huokoisuus on suuri. Laitteisto soveltuu parhaiten tapauksiin, joissa tehokas jännitys voi olla pieni. Pehmeäseinäinen selli on ainoa menetelmä kalliinäytteiden ja kovien kerroksellisten näytteiden vedenläpäisevyyden mittaamiseksi. [Rowe et al 1995]

Tehokas sellipaine lasketaan kaavalla

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - \frac{(u_1 + u_2)}{2} \quad (19)$$

missä	σ'_3	on	tehokas jännitys näytteessä
	σ_3		sellipaine
	u_1		etupaine
	u_2		takapaine.

Vedenläpäisevyyskerroin k lasketaan kaavalla

$$k = \frac{Qh}{AtH} \quad (20)$$

missä	Q	on	virtaama, lasketaan sisään- ja ulosvirtauksen keskiarvona
	h		näytteen korkeus
	A		näytteen pohjapinta-ala
	t		mittausajankohtaa vastaava aika
	H		hydraulinen painekorkeus [TEKES 1995].

Jännitystila

Sellissä voidaan kokeen tehokasta jännitystä muuttaa niin, että se vastaa suunnitellussa tai olemassa olevassa kerroksessa vallitsevaa jännitystä. Tehokas jännitys on sellipaineen ja huokosvedenpaineen erotus. Tehokas jännitys ei ole sama koko kokeen aikana, vaan vaihtelee käytettävän gradientin mukaan. Huokosvedenpaine näytteen sisäänvirtauspäässä on yhtä suuri kuin läpäisevän nesteen suurin painekorkeus ja ulosvirtauspäässä se on nolla, kun takapainetta ei käytetä. Tehokas jännitys pitäisikin määrittää näytteen keskipisteessä, ettei se ole ulosvirtauspäässä liian suuri. Vastaavalla tavalla on tehokas jännitys liian pieni, jos se määritetään näytteen ulosvirtauspäässä. [Sjöholm et al 1994]

Sellipaineen pitäisi olla vähintään yhtä suuri kuin suurin käytetty painekorkeus vedenläpäisevyyskokeessa, jotta kumikalvo tiivistyisi hyvin näytettä vasten. Saksalaisen normin mukaan pitäisi paineen kumikalvoa vastaan olla 20 % korkeampi kuin huokospaine (painekorkeus näytteen pohjalla). Jos halutaan käyttää suuria gradientteja esimerkiksi nopeutetuissa kokeissa, pitää sellipainetta kasvattaa, mikä johtaa siihen, että toivottua tehokasta jännitystä ei voida pitää yllä. Suuria gradientteja käytettäessä voi liian suuri tehokas jännitys näytteen ulosvirtauspäässä aiheuttaa konsolidoitumista, joka puolestaan voi johtaa liian pieneen vedenläpäisevyyteen. [Sjöholm et al 1994]

Kun tehokasta jännitystä nostetaan koekappaleessa, se aiheuttaa konsolidoitumista. Konsolidoituminen aiheuttaa huokosveden ulosvirtausta ja huokoisuus pienenee. Pienentynyt huokoisuus aiheuttaa pienemmän vedenläpäisevyyden. Näennäinen vedenläpäisevyyden kohoaminen johtuu siis ulos virtaavasta huokosvedestä. Tarkkailemalla sekä sisään että ulos virtaavaa vettä voidaan näennäinen vedenläpäisevyyden kohoaminen arvioida. [Sjöholm et al 1994]

Koska vedenläpäisevyys riippuu tehokkaasta jännitystasosta, pitää kokeessa käytetty jännitystaso aina ilmoittaa vedenläpäisevyysarvoa ilmoitettaessa. Laboratoriossa on usein pakko käyttää in situ -tilannetta suurempaa tehokasta jännitystä, jos vaaditaan, että tietty vesitilavuus virtaa näytteen läpi suhteellisen lyhyessä ajassa. [Sjöholm et al 1994]

Gradientin vaikutus

Vedenläpäisevyys riippuu hydraulisesta gradientista, joten vedenläpäisevyyskoe tulisi pyrkiä tekemään todellista tilannetta vastaavalla gradientilla. Mittauksessa käytettävä gradientti tulisi valita välittämättä siitä, mikä on materiaalin vedenläpäisevyys.

Kyllästettäessä näytettä tulisi gradientti pitää niin pienenä, että koekappaleessa ei pääse tapahtumaan sisäistä eroosiota. Kyllästysvaiheen jälkeen gradientti nostetaan vaadittuun arvoonsa riippumatta käytettävissä olevasta mittaustarkkuudesta. Gradientti valitaan siten, että Darcyn lain mukaiset reunaehdot yksidimensioisesta virtauksesta täyttyvät ja näytteen erottuminen, konsolidoituminen ja laajeneminen vältetään.

Suuren gradientin käyttö voi syövyttää näytteeseen kanavia, joita pitkin vesi pääsee virtaamaan. Kanavien muodostumisen riskiä on vaikea ennustaa. Materiaalin taipumus sisäiseen eroosioon riippuu sen raekokojakaumasta, tiiviysasteesta, mineralogiasta, plastisuudesta ja muista materiaalin ominaisuuksista. Näiden useiden sisäiseen eroosioon vaikuttavien tekijöiden perusteella on vaikeaa tarkasti määritellä maksimigradienttia, jolla sisäistä eroosiota ei esiintyisi. Sisäisen eroosion vedenläpäisevyyskokeessa voi havaita sameana läpäisyvetenä ja vedenläpäisevyyden kasvamisena gradienttia kasvatettaessa.

Suuri gradientti aiheuttaa myös differentiaalista konsolidoitumista, joka tiivistää materiaalia ulosvirtauspäässä. Tämä voi aiheuttaa vedenläpäisevyyden pienenemistä gradienttia nostettaessa. [Sjöholm et al 1994]

Tehtäessä vedenläpäisevyyskoetta hienorakeisille maalajeille, joilla on pieni vedenläpäisevyys, partikkelit ovat liikkumattoman tai erittäin hitaasti liikkuvan veden ympäröimiä. Tämän takia virtaus on pieni tai sitä ei tapahdu ollenkaan, ennen kuin tietty rajagradientti saavutetaan.

Tiiviille materiaaleille on vaikea saada edustavaa mittausarvoa pienillä gradientteilla. Mittaustarkkuus läpivirtaavalle vedelle on noin $\pm 0,1 \text{ cm}^3/\text{vrk}$. Jos tulos

halutaan ilmoittaa desimaalin tarkkuudella, voi olla pakko käyttää suurta gradienttia. Kun gradientti on $i = 5$ ja näytteen halkaisija on 100 mm, pienin vedenläpäisevyys, joka voidaan ilmoittaa desimaalin tarkkuudella, on $k = 3 \cdot 10^{-10}$ m/s. Jos materiaali on tiiviimpää, läpivirtaavan veden määrä tulee olemaan pienempi kuin $q = 0,1 \text{ cm}^3/\text{vrk}$. Jos gradientti kohoaa arvoon $i = 30$, merkitsee vesimäärä $q = 0,1 \text{ cm}^3/\text{vrk}$ vedenläpäisevyyttä $k = 4 \cdot 10^{-11}$ m/s.

Kun näytteen kokoa pienennetään, läpivirtaavan veden määrä ja myös mittaus-tarkkuus on pienempi kuin suurella näytteellä. Kun näytteen halkaisija on 50 mm, virtauksella $q = 0,1 \text{ cm}^3/\text{vrk}$ vedenläpäisevyydeksi saadaan $k = 1 \cdot 10^{-9}$ m/s. Jos käytetään gradienttia $i = 30$, samalla virtauksella saadaan gradientiksi $k = 2 \cdot 10^{-10}$ m/s. [Sjöholm et al 1994]

Näytteen kyllästäminen

Vedenläpäisevyyden määrittäminen vaikeutuu, jos näyte ei ole täysin vedellä kyllästetty. Virhe aiheutuu näytteen sisältämän ilman tilavuuden muutoksesta. Ilmakuplilla on taipumus kerääntyä näytteen siihen päähän, josta vesi tulee ulos. Kun vesi virtaa näytteen läpi, vedenpaine pienentyy ja ilmaa vapautuu. Kun vedenpaine edelleen laskee, ilma laajenee ja jää näytteeseen. Tämä voidaan välttää, jos mittaus tehdään ilmattomalla vedellä.

Näytteen kyllästäminen tehdään mieluiten takapainetta käyttämällä, eli sekä sellipainetta ja huokosvedenpainetta nostetaan. Takapaineen käyttö perustuu olettamukseen, että korkeassa paineessa kaasua puristuu kokoon ja liukenee läpäisyneesteeseen. Huokosveden paine kasvaa vastaavasti ja vedenläpäisevyys määritellään jokaisessa vaiheessa. Mittausta jatketaan, kunnes huokosvedenpaineen lisäys ei aiheuta muutosta vedenläpäisevyydessä, jolloin voidaan olettaa, että näytteessä ollut ilma on käytännöllisesti katsottuna liuenut kokonaan läpäisyneesteeseen.

Tarvittavan takapaineen suuruus riippuu luonnontilaisesta kyllästysasteesta. Jos se on esimerkiksi 90 %, pitäisi käyttää 350 kPa takapainetta, jotta kyllästysasteeksi saataisiin 99 %. Täydellinen vedellä kyllästyminen on käytännössä mahdotonta saavuttaa. Amerikkalaisen standardin mukaan vaadittava kyllästysaste kolmiaksoalisellissa tehtävälle vedenläpäisevyydeksi on 95 %. [TEKES 1995]

Mikäli laitteistossa on mahdollisuus huokosvedenpaineen mittaamiseen näytteestä, kyllästyminen voidaan varmistaa ennen läpäisyä huokospaineparametrin B avulla. Huokospaineparametri määritellään seuraavasti:

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma} \quad (21)$$

missä Δu on huokosvedenpaineen muutos näytteessä
 $\Delta \sigma$ näytettä ympäröivän paineen muutos.

Huokospaineparametrin mittaamiseksi näytteeseen menevät ja siitä tulevat venttiilit suljetaan huokosveden eristämiseksi. Ympäröivää sellipainetta muutetaan ennalta määritellyn $\Delta\sigma$:n verran. Vastaava huokosvedenpaineen muutos Δu mitataan elektronisella paineanturilla ja kerroin lasketaan kaavalla 21.

Jos näyte on täysin vedellä kyllästynyt eikä siinä ole ilmaa, huokosvedenpaine muuttuu saman verran kuin sellipaine ja huokospaine kertoimen arvoksi saadaan 1. Kuitenkin kovalle maalajeille ja kiville kerroin on suurempi kuin 1 vaikka näyte olisikin täysin kyllästynyt. Yleisesti, mitä enemmän näytteessä on ilmaa, sitä pienempi huokospainekerroin on. [Daniel 1994]

3.4 Jäykkäseinäisten ja pehmeäseinäisen menetelmien vertailu

Jäykkäseinäinen laitteisto on yleensä halvempi ja helppokäyttöisempi kuin pehmeäseinäinen. Jäykkäseinäisessä laitteistossa näytteen ja sellin seinämän välinen vuoto on mahdollista, eikä jännityksiä pystytä määrittämään tarkasti. Periaatteessa takapaineen käyttö on mahdollista myös jäykkäseinäisessä laitteistossa. On kuitenkin havaittu, että takapaine ei toimi hyvin jäykkäseinäisissä selleissä. [Daniel 1994]

Seinämävuoto ei ole yleensä ongelma laboratoriossa tiivistetyille saville, kun läpäisevänä nesteinä käytetään vettä ja koe tehdään tiivistysmuotissa ilman takapainetta. Näytteen laajeneminen sitä kostutettaessa vähentää seinämävuotoa.

Lähteen [Daniel 1994] mukaan näyte voidaan saada mahdollisimman hyvin vedellä kyllästetyksi seuraavin keinoin:

- Kokeessa käytetään ilmatonta vettä, jolloin ilma liukenee parhaiten veteen kokeen aikana.
- Koetta jatketaan kunnes veden sisään- ja ulosvirtaus ovat yhtä suuria ja vedenläpäisevyyden arvo on vakiintunut.

Jos näytteen vedenläpäisevyys on pieni ($< 1 \times 10^{-9}$ m/s), onnistunut koe edellyttää 1 - 8 viikon mittausaikaa.

Pehmeäseinäinen laitteisto on yleensä monipuolisempi kuin jäykkäseinäinen eikä siinä yleensä esiinny seinämävuotoa. Menetelmä soveltuu lähes kaikille maalajeille. Mittaukseen kuluva aika on pienempi kuin jäykkäseinäisessä menetelmässä, koska näyte voidaan kyllästyä suhteellisen nopeasti takapainetta käyttäen.

Suurimmat ongelmat pehmeäseinäisessä laitteiston käytössä on laitteiston kalleus ja monimutkaisuus. Jos mittauksessa käytetään läpäisevänä nesteenä veden sijasta kemikaaleja, näytteen ympärillä olevan kumikalvon kemiallinen kestävyys on otettava huomioon. Myös pienen sellipaineen käyttö voi olla ongelma, koska reunavuotoa voi esiintyä, mikäli sellipaine ei purista kalvoa

näytettä vasten riittävän suurella voimalla. Pehmeäseinämäinen laitteisto soveltuu erityisesti häiriintymättömien näytteiden vedenläpäisevyyden mittaukseen. [Daniel 1994]

1980-luvun alkuun asti jäykkäseinämäinen laitteisto oli yleisin vedenläpäisevyyden mittaustapa. 1980-luvun alussa huomattiin, että reunavuoto voi vaikuttaa merkittävästi savipitoisilla materiaaleilla tehtyjen kokeiden tuloksiin. Yhdysvalloissa käytetään pehmeäseinämäistä mittaustapaa, koska siellä standardia jäykkäseinämäiselle mittaukselle ei ole. Jäykkäseinämäistä laitteistoa käytetään tutkimustarkoituksissa laboratoriossa tiivistetyille savipitoisille materiaaleille. [Daniel 1994]

Muuttuvapainekokeessa sisään menevän ja ulos tulevan veden tasot voivat muuttua kokeen aikana. Ulostulevan veden taso (takapaine) voi olla vakio tai muuttuva. Muuttuvapainekoetta varten tarvittava laitteisto on yksinkertainen. Paineen aleneminen kokeen aikana voi aiheuttaa näytteessä olevien ilmakuplien laajenemisen ja vedestä voi vapautua ilmaa näytteeseen. Tämä voidaan välttää, jos näyte on kyllästetty käyttämällä takapainetta. Pehmeäseinämäisessä sellissä huokosvedenpaineen nostaminen voi aiheuttaa konsolidaatiota. ASTM:n normin mukaan muuttuvapainekokeen paine saa alentua enintään 25 % alkuperäisestä.

3.5 Vedenläpäisevyyden määrittämien osittain kyllästyneille näytteille

Osittain kyllästyneille näytteille käytetään samoja vedenläpäisevyyden mittaamenetelmiä kuin täysin kyllästyneille näytteille. Mitattaessa osittain kyllästyneen näytteen vedenläpäisevyyttä on aina mitattava huokosvedenpainetta ja kyllästysastetta.

Osittain kyllästyneen maan huokosvedenpaine on huokosilman paineeseen verrattuna negatiivinen. Negatiiviselle huokosvedenpaineelle käytetään termiä imupaine. Imupainetta voidaan mitata tensiometreillä, painelevyillä ja psykrometreillä.

Tensiometrissä on huokoinen anturi, joka on yhdistetty putkella painemittariin. Anturi on yleensä keraaminen ja sen huokosten on oltava riittävän pieniä, jotta ilma ei virtaa kiven läpi ja aiheuta mittaussäätelmän kuivamista. Tensiometrillä voidaan yleensä mitata korkeita noin 90 kPa imua. Suurempi imupaine aiheuttaa ilmakuplien kerääntymistä mittaussäätelmään, jolloin mittari näyttää imupaineen laskeneen nollaan.

Imupaineen mittaamiseen voidaan käyttää myös painelevyä. Siinä ilmanpaineen annetaan vaikuttaa näytteeseen, kunnes mittaussäätelmän paine on lähellä nollaa. Imupaine voidaan määrittellä huokosilmanpaineen ja

huokosvedenpaineen erotuksena. Keraamisella levyllä voidaan mitata imupainetta aina 1500 kPa paineeseen asti.

Alle 8000 kPa imupaineita voidaan mitata määrittämällä huokosilman suhteellinen kosteus psykrometrillä, jolloin imupaine p voidaan laskea kaavalla

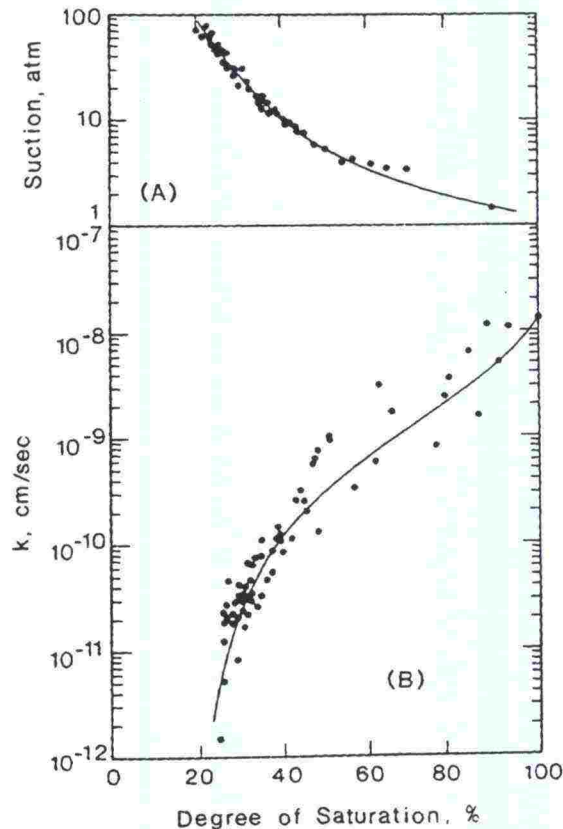
$$p = \frac{RT}{M} \ln H \quad (22)$$

missä

R	on	yleinen kaasuvakio
T		lämpötila
M		veden molekyylipaino
H		suhteellinen kosteus.

Psykrometreillä ei voida mitata tarkasti alle 200 kPa imupainetta, koska suhteellinen kosteuden mittaaminen lähellä 100 prosenttia on vaikeaa. [Olson, Daniel 1981]

Kun imupaine pienenee, kyllästysaste kasvaa, mikä aiheuttaa vedenläpäisevyyden kasvun (kuva 10). Näytteen vedenläpäisevyyteen vaikuttaa imupaineen ja kyllästysasteen vaihtelut. Tämän takia kokeet pitäisi tehdä käyttäen pientä gradienttia tai veden virtaus, gradientti ja imupaine täytyisi mitata samanaikaisesti jokaisessa pisteessä.



Kuva 10. Imupaine ja vedenläpäisevyys kyllästysasteen funktiona, tiivistetty savi [Olson, Daniel 1981].

4 VEDENLÄPÄISEVYYTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

4.1 Partikkelien kokojakauma / rakeisuus

Tiivistetyn maan partikkeleiden kokojakauma (rakeisuuskäyrä) vaikuttaa vedenläpäisevyyteen, koska virtausta johtavien huokosten koko riippuu pienten ja suurten partikkeleiden suhteellisista osuuksista. Vedenläpäisevyys on pieni, kun maa on hyvin suhteistunut ja riittävän hienoainespitoinen. Läpäisevyys määräytyy rakeiden väliseen tilaan syntyvästä kanavasysteemistä. Se kasvaa raekoon kasvaessa ja lajittuneisuuden lisääntyessä. [Sjöholm et al 1994]

Vedenläpäisevyyden arvioinnissa käytetään usein rakeisuuteen perustuvia kaavoja. Kaavat ovat teoreettisia ja niiden perusteella vedenläpäisevyys saadaan arvioitua vain karkeasti. Taylorin 1948 kehittämän kaavan mukaan vedenläpäisevyyserroin saadaan kaavasta 23

$$k = d_s^2 \frac{\gamma}{\mu} \frac{e^3}{(1 + e)} c \quad (23)$$

missä	k	on	vedenläpäisevyyserroin
	d_s		jokin tehokas raekoko
	γ		läpäisynesteen tiheys
	μ		läpäisynesteen viskositeetti
	e		huokosluku
	c		muotokerroin

Yhtälön oletetaan olevan voimassa maalajeille, joiden vedenläpäisevyys on suurempi kuin 10^{-5} m/s.

Tasarakeiselle hiekalle on esitetty lähteessä [Janbu 1970] empiirinen kaava,

$$k = f_k e^2 d^2 \quad (24)$$

missä	e	on	huokosluku
	d		keskimääräinen raekoko
	f_k		empiirinen kerroin, joka vaihtelee välillä 10^{-3} – $2 \cdot 10^{-3}$.

Puhtaan suodatinhiekan vedenläpäisevyys voidaan laskea Hazen'in kaavalla

$$k = c d_{10}^2 \quad (25)$$

missä	k	on	vedenläpäisevyys, cm/s
	d_{10}		tehokas raekoko, cm
	c		vakio, vaihtelee 90–120.

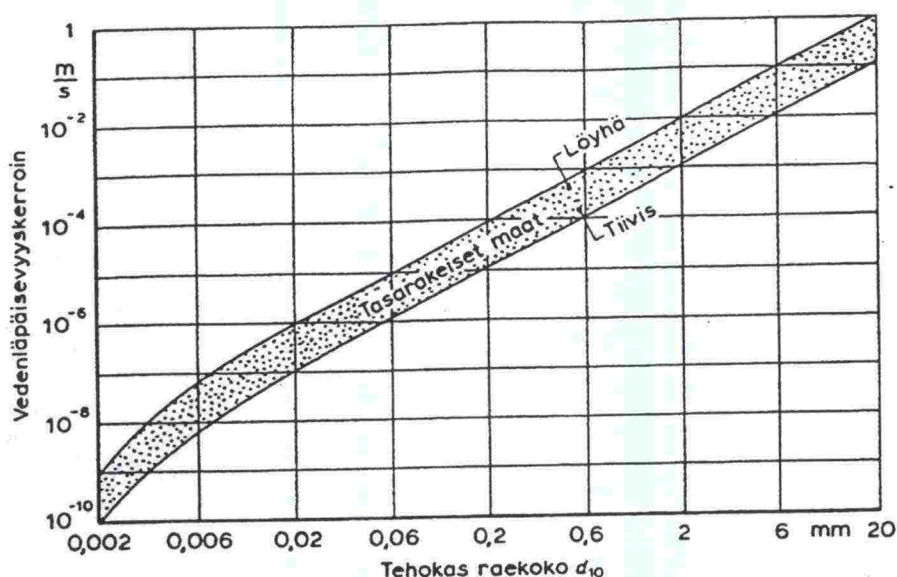
Usein vakion c arvona käytetään 100. Kaava on kehitetty löyhässä tilassa olevalle puhtaalle suodatinhiekalle. [Cedergren 1967]

Lähteessä [Aalto 1985] Hazen'in kaava on esitetty muodossa, joka ottaa huomioon lämpötilan vaikutuksen vedenläpäisevyyteen, kaava 26

$$k = cd_{10}^2 (0,7 + 0,03 \times T) \quad (26)$$

missä k on vedenläpäisevyys, m/s
 d_{10} tehokas raekoko, mm
 T lämpötila, °C
 c vakio.

Kertoimen c arvo kaavassa 26 on löyhässä luonnonhiekassa $1,2 \cdot 10^{-2}$ ja se voi vaihdella arvosta $1,5 \cdot 10^{-2}$ tasarakeisessa maassa arvoon $0,6 \cdot 10^{-2}$ lajittuneemassa tiiviissä maassa. Vedenläpäisevyyškertoimen ja tehokkaan raekoon välinen riippuvuus tasarakeisissa maissa on esitetty kuvassa 11 [Aalto 1985].



Kuva 11. Vedenläpäisevyyškertoimen ja tehokkaan raekoon välinen riippuvuus tasarakeisissa maissa [Aalto 1985].

Puhtaan tasarakeisen kivennäismaalajin vedenläpäisevyys (m/s) voidaan määrittää Beskowin mukaan kaavalla

$$k = 0,5 \times 10^{-2} d_{50} \quad (27)$$

missä d_{50} on keskimääräinen raekoko (mm). [Aalto 1985]

Vedenläpäisevyyksiä erilaisille maalajeille on esitetty useissa lähteissä, taulukot 3 ja 4. Lähteissä ilmoitetut vedenläpäisevyyden arvot on muutettu yksikköön m/s.

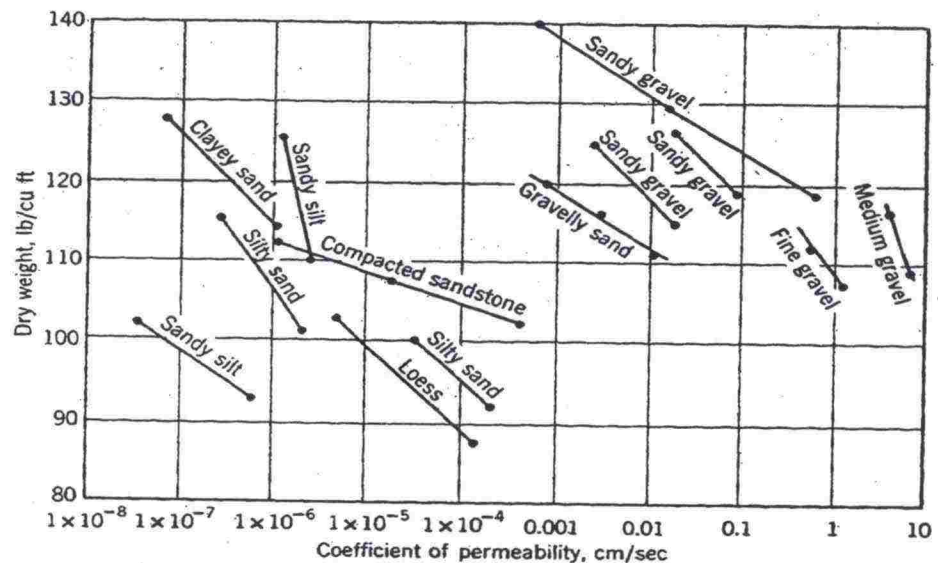
Taulukko 3. Vedenläpäisevyyškertoimen (k) likiarvot eri maalajeissa [TVH 1970].

Maalaji (raekoko)	k [m/s]
Sora (2–20 mm)	$10^{-2} - 10^{-4}$
Hiekka (0,2–2 mm)	$10^{-2} - 10^{-6}$
Karkea hietta (0,06–0,2 mm)	$10^{-3} - 10^{-6}$
Siltti (0,002–0,006 mm)	$10^{-5} - 10^{-9}$
Savi (<0,002 mm)	$10^{-8} - 10^{-12}$
Moreeni	$10^{-6} - 10^{-10}$

Taulukko 4. Tyypillisiä vedenläpäisevyyksiä eri maalajeille [Janbu 1970].

Maalaji	k (m/s)
Sora	$>10^{-2}$
Hiekka *)	$10^{-2} - 10^{-5}$
Siltti *)	$10^{-5} - 10^{-8}$
Moreeni	$10^{-6} - 10^{-9}$
Savi	$10^{-8} - 10^{-11}$
*) tasarakeinen	

Kuvassa 12 on esitetty vedenläpäisevyyden ja kuivatilavuuspainon suhteet erilaisille maalajeille.

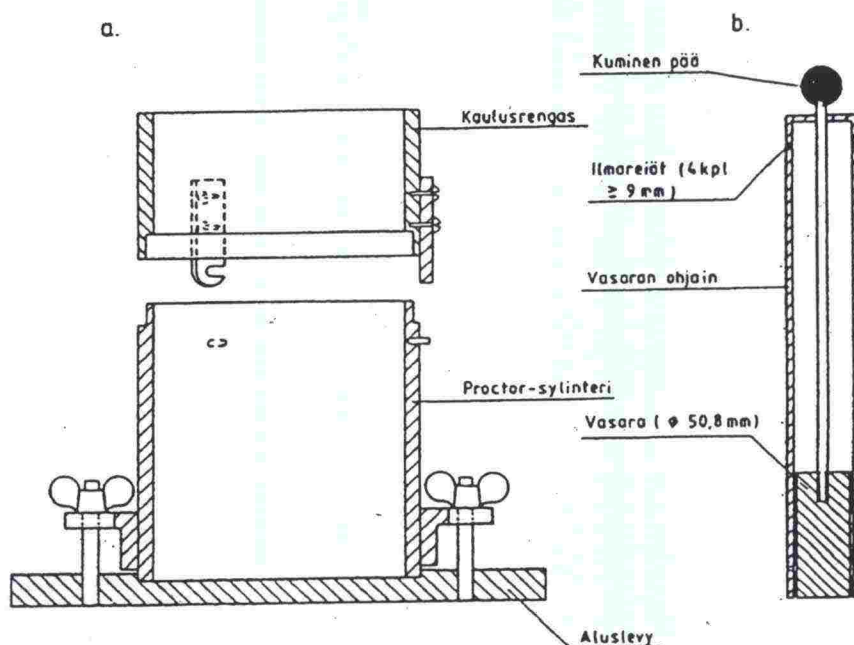


Kuva 12. Vedenläpäisevyyden ja kuivairtitiheyden suhde erilaisille maalajeille [Cedergren 1967]. $1 \text{ lb/cu ft} \approx 16 \text{ g/cm}^3$, $1 \text{ cm/s} = 10^{-2} \text{ m/s}$.

4.2 Vesipitoisuus ja tiivistysaste

Maalajin vesipitoisuus määritetään laboratoriossa kuivattamalla näyte ja laske-
malla vesipitoisuus kuivan näytteen massasta. Maa-aineksella on olemassa ns.
optimivesipitoisuus, jossa tietyllä tiivistysenergialla tiivistettynä saavutetaan
suurin mahdollinen kuivairtitiheys eli maksimikuivairtitiheys. Optimivesipitoi-
suus ja maksimikuivairtitiheys määritetään vakioidulla menetelmällä ja saavu-
tettavat arvot ovat riippuvaisia käytetystä tiivistysenergiasta. Tiiviyysaste ilmoit-
taa, mikä on näytteen kuivairtitiheyden ja maksimikuivairtitiheyden suhde.

Maksimikuivairtitiheyden ja optimivesipitoisuuden määrittämiseen on yleisem-
min käytetty ns. proctor-koetta, jossa materiaali sullotaan läpimitaltaan 10,2 cm
teräsmuottiin. Alkuperäisessä (standard proctor) kokeessa tiivistys tapahtuu
kolmessa kerroksessa massaltaan 2,5 kg olevalla proctor-vasaralla. Kunkin
kerroksen tiivistämiseen käytetään 25 vasaran pudotusta. Pohjoismaissa on
yleisesti käytössä ns. parannettu proctor (modified proctor), jossa tiivistysker-
roksia on viisi ja proctor-vasaran paino 4,54 kg. Laitteisto on esitetty kuvassa
13.

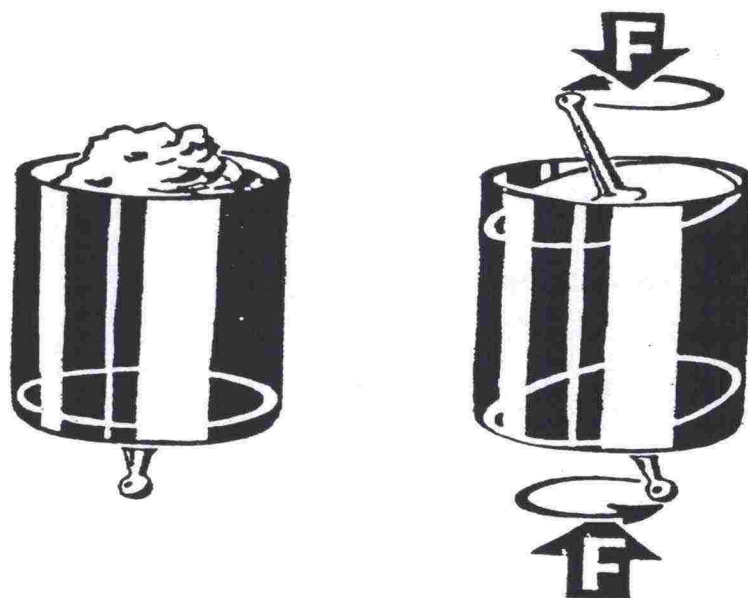


Kuva 13. Proctor-laitteisto [Roppola 1989].

Kokeet soveltuvat materiaalille, jonka suurin raekoko on 16 mm. Jos yli 20 mm
rakeita on enintään 30 %, voidaan laskea muunnettu proctor-tiheys tekemällä
kivisyyskorjaus. Jos maalaji sisältää enemmän karkeita lajitteita, koe voidaan
tehdä läpimitaltaan 15,2 cm olevassa muotissa. Varsinainen menetelmäkuvaus
on esitetty esimerkiksi tielaitoksen julkaisussa Rakentamisen laadunvarmistus.

Maalajin tiivistymistä voidaan tutkia myös IC-laitteella (Intensive Compaction),
joka on ensisijaisesti kehitetty jäykkien betonimassojen tiivistykseen. Laite
käyttää kiertotiivistysmenetelmää, jossa näyte tiivistyy näytesylinterin pohjan ja

kannen välissä valitussa tasaisessa paineessa. Tiivistyksen aikana pohja ja kansi pysyvät keskenään samansuuntaisina, periaate on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. IC-tiivistyksen periaate [Roppola 1989].

Laitteen nopeus on 120 työkierrosta minuutissa ja laite voidaan ohjelmoida pysähtymään tietyn kierrosmäärän jälkeen tai kun haluttuun tiheyteen on päästy. Laitteen ohjausyksikkö rekisteröi työkierrosta vastaavan näytteen korkeuslukeman ja muokausvoiman amplitudin. [Roppola 1989]

Tarkastelemalla työkierrokset-tiheys -kuvaajaa voidaan arvioida maalajin tiivistymiskäyttäytymistä. Varsinaisesti maksimikuivairtitiheyttä IC-laitteella ei voida määrittää siten, että saadut tulokset olisivat vertailukelpoisia proctor-kokeen kanssa. Tämä johtuu siitä, että IC-laitteen näytteeseen kohdistamaa tiivistysenergiaa ei voida laskea, eikä energiamäärä ole vakio. Tiivistykseen käytettävän energian muutoksia voidaan kyllä tarkastella vertailemalla muokausvoiman amplitudin vaihtelua.

Lähteen [Roppola 1989] mukaan optimivesipitoisuutta kosteampien näytteiden tiivistäminen IC-laitteella on vaikeaa. Kun näyte on optimivesipitoisuutta kosteammassa tilassa, tietyillä maalajeilla alkaa erottua vettä ja hienoinesta käsittävää lietettä, joka valuu näytteen pohjalevyn ja näytesylinterin välistä. Tällöin näytteen massa ja vesipitoisuus muuttuvat kokeen aikana. Tiivistettäessä hienorakeisia maalajeja, kuten savea, huokospaine näytteessä kasvaa suureksi, eikä laite enää pysty tiivistämään näytettä tiiviimpään tilaan.

IC-laitteella näyte voidaan tiivistää täsmälleen haluttuun tiiviyteen, joten sitä voidaan hyvin käyttää vedenläpäisevyyden näytteiden valmistukseen. Näytteestä tulee rakenteeltaan homogeeninen ja valmistus on nopeaa. Kun maksimikuivairtitiheys on määritetty parannetulla proctor-kokeella, voidaan vedenlä-

päisevyyскоetta varten tehdä näyte haluttuun tiiviysasteeseen tarkoituksenmukaisessa vesipitoisuudessa. [Roppola 1989]

Maamateriaalin vesipitoisuuden, tiiviiden ja vedenläpäisevyyden suhdetta on selvitetty useissa tutkimuksissa. Vedenläpäisevyyden on havaittu riippuvan maan vesipitoisuudesta tiivistyksen aikana. Vedenläpäisevyys ei välttämättä ole pienin maksimikuivairtoteiheydessä ja optimivesipitoisuudessa. Useissa tutkimuksissa on havaittu, että pienin vedenläpäisevyys saavutetaan, kun näyte on tiivistetty 2-4 % optimivesipitoisuutta kosteammassa tilassa. Tiivistettäessä maata optimivesipitoisuutta kosteammassa tilassa savipartikkelit järjestyvät vaakasuorasti. Tällöin vedenläpäisevyys on anisotrooppista eli vaakasuora vedenläpäisevyys on suurempi kuin pystysuora vedenläpäisevyys. [Sjöholm et al 1994], [Benson et al 1994]

Tiiviiden vaikutus vedenläpäisevyyteen on useissa tutkimuksissa todettu olevan merkittävä. Tyypillisesti käsitellään vesipitoisuutta, tiivistysenergiaa ja kuivairtoteiheyttä. Kuivairtoteiheyden saavuttaa maksimiarvonsa optimivesipitoisuudessa, kun eri vesipitoisuuksiin kostutettuja näytteitä tiivistetään samalla energialla. Erilaisilla tiivistysenergioilla tehtyjen kokeiden optimien kautta vedettyä viivaa kutsutaan optimien suoraksi ja se on usein samansuuntainen 100 % kyllästymisastetta osoittavan suoran kanssa. [Othman, Luettich 1994]

Laboratorio-olosuhteissa on mahdollista valvoa vesipitoisuutta suhteellisen luotettavasti. Kenttäolosuhteissa se ei aina ole mahdollista. Tämä voi olla yksi syy, minkä takia laboratoriossa ja maasto-olosuhteissa mitatut vedenläpäisevydet eroavat toisistaan. [Sjöholm et al 1994]

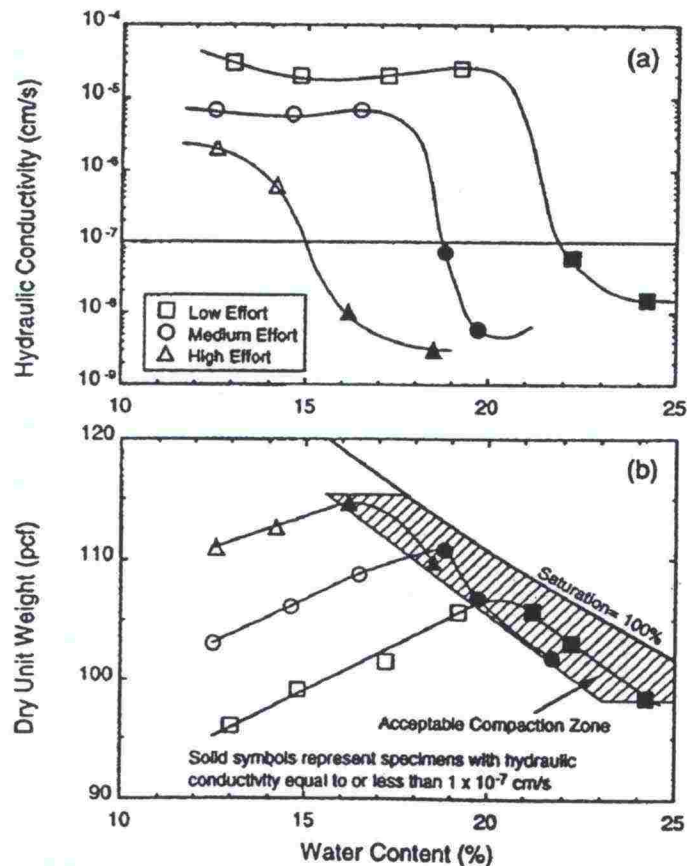
Vedenläpäisevyys maassa pienenee, kun vesipitoisuus tai tiivistysenergia kasvaa. Kun vesipitoisuus on optimivesipitoisuutta pienempi, vedenläpäisevyys on suuri ja se pienenee nopeasti, kun vesipitoisuus lähenee optimia. Kun maa on optimivesipitoisuutta kosteammassa tilassa, vedenläpäisevyys on pieni. Vedenläpäisevyys pienenee huomattavasti, kun käytetty tiivistysenergia kasvaa.

Vedenläpäisevyyden muutos edellä kuvatuilla tavoilla johtuu huokoskoon ja sen jakauman muutoksesta. Optimin kuivalla puolella savipartikkeleilla on suurempi lujuus ja ne vastustavat enemmän tiivistymistä. Saveen jää makroskooppisten huokosten verkko ja vedenläpäisevyys on suuri.

Optimin määrällä puolella savipartikkelit muokkaantuvat helposti tiivistettäessä, mikä saa aikaan tiiviin ja suhteellisen homogeenisen massan, jossa huokosten koko on pieni. [Othman, Luettich 1994]

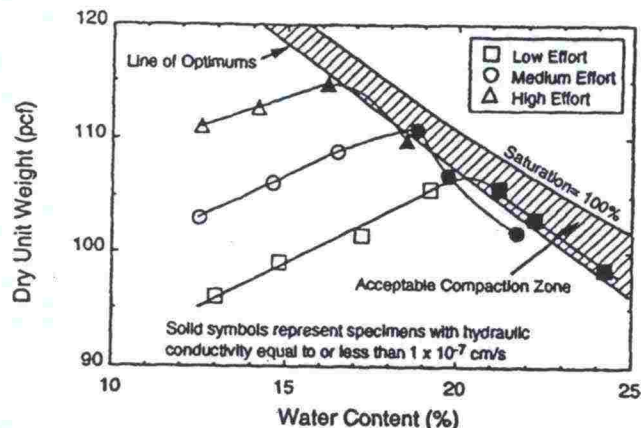
Tiivistekerrosten rakentamisessa on tärkeää käyttää sellaista vesipitoisuuden ja kuivairtoteiheyden suhdetta, jolla saadaan mahdollisimman pieni vedenläpäisevyys. Lähestymistapoja on useita. Voidaan pyrkiä määrittämään vesipitoisuus-kuivairtoteiheyssäyryltä vedenläpäisevyysskriteerin täyttävä alue

(kuva 15). Tällöin vaaditaan koetiivistyksiä laboratoriossa usealla erilaisella tiivistysenergialla.



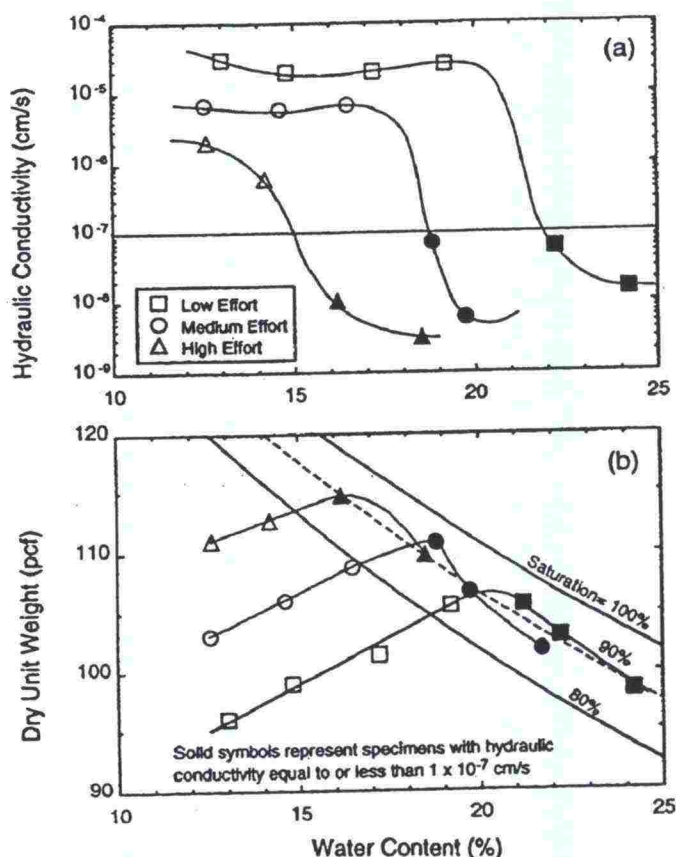
Kuva 15. Vedenläpäisevyyden ja kuivairtitiheyden suhde vesipitoisuuteen. Hyväksyttävä tiiviysalue, kun vedenläpäisevyyden on oltava vähintään 1×10^{-9} m/s. Tummennetut pisteet täyttävät vedenläpäisevyydskriteerin. ($1 \text{ pcf} = 0,157 \text{ kN/m}^3$) [Othman, Luettich 1994].

Toinen tapa perustuu maksimikuivairtitiheyteen ja optimivesipitoisuuteen, jolloin hyväksyttävä vedenläpäisevyys saavutettaisiin erilaisilla tiivistysenergioilla saavutettujen optimien oikealla puolella (kuva 16).



Kuva 16. Optimien suora ja hyväksyttävä tiiviysalue, kun vedenläpäisevyyden on oltava vähintään 1×10^{-9} m/s ($1 \text{ pcf} = 0,157 \text{ kN/m}^3$) [Othman, Luettich 1994].

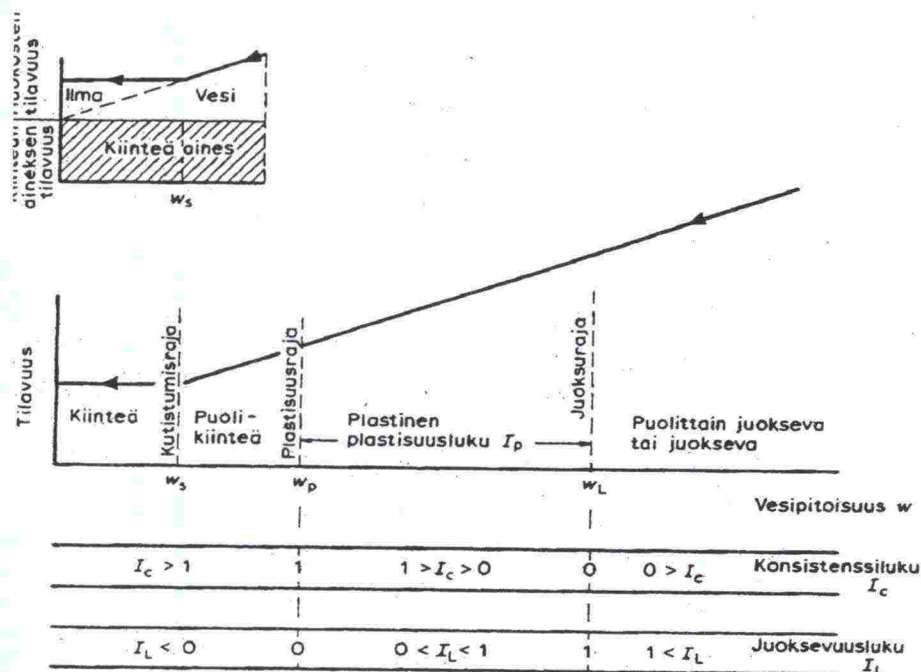
Tiiviyskriteeri voidaan ilmaista myös kyllästysasteen avulla. Kuvan 17 mukaan ko. maa on tiivistettävä vähintään 83 % kyllästysasteeseen.



Kuva 17. Kyllästysasteen, vedenläpäisevyyden ja vesipitoisuuden riippuvuus toisistaan, kun vedenläpäisevyyden on oltava vähintään 1×10^{-9} m/s ($1 \text{ pcf} = 0,157 \text{ kN/m}^3$) [Othman, Luettich 1994].

4.3 Atterbergin rajat

Atterbergin rajat eli konsistenssirajat kuvaavat savipartikkeleiden määrää ja saven mineralogista koostumusta. Konsistenssirajoja ovat juoksuraja, kieritysraja ja kutistumisraja. Jos maalajin vesipitoisuus on juoksurajaa vastaava tai sitä suurempi, on maalaji juoksevassa tilassa. Jos vesipitoisuus on juoksurajan ja kieritysrajan välillä, on maalaji plastisessa tilassa. Kutistumisraja kuvaa vesipitoisuutta, jossa näytteen tilavuus ei enää muutu sen kuivuessa. Maalajeja kuvataan usein myös plastisuusluvulla, joka on juoksurajaa ja kieritysrajaa vastaavien vesipitoisuuksien erotus. Konsistenssirajojen määrittäminen laboratorioissa on kuvattu mm. TVH:n punaisessa kirjassa [TVH 1970]. Kuvassa 18 on esitetty konsistenssirajat vesipitoisuuden ja tilavuuden avulla.



Kuva 18. Konsistenssirajat ja maan olomuoto [Lojander 1985].

Korkea juoksuraja ja plastisuusluku yhdistetään maahan, jossa on paljon savipartikkeleita tai savipartikkeleilla on suuri pinta-aktiivisuus. Tämän takia oletetaan, että vedenläpäisevyydellä ja Atterbergin rajoilla on yhteys toisiinsa. Yleisesti voidaan sanoa vedenläpäisevyyden pienenevän, kun plastisuusluku kasvaa. [Benson et al 1994B]

Tiivistetyn maakerroksen vedenläpäisevyys kasvaa merkittävästi, jos maa kuivuessaan kutistuu, jolloin kerrokseen muodostuu halkeamia. Suojausrakenteissa tätä pyritään estämään tiivistekerroksen päälle tulevalle suojakerroksella.

Aktiivisuus kuvaa saven laajenemistaipumusta ja sitä voidaan käyttää laajenevien savien tunnistamisessa ja mineraalityypin arvioinnissa. Suuri aktiivisuus liittyy savimineraaleihin, jotka voivat adsorboida suuria vesimääriä mineraalirakenteeseensa. [Carter, Bentley 1991]

Aktiivisuus A_c lasketaan kaavalla

$$A_c = \frac{I_p}{C} \quad (28)$$

missä I_p on plastisuusluku
 C savipitoisuus eli $\leq 0,002$ mm lajitteen määrä

Vesimolekyylien tunkeutuminen paisuvahilaiseen savimolekyyliin aiheuttaa tilavuuden kasvua. Tällainen materiaali on myös tiivisterakenteissa käytettävä bentoniitti.

4.4 Läpäisyneste

Yleensä läpäisynesteenä käytetään tavallista vesijohtovettä. Myös muiden nesteiden läpäisevyyttä voidaan tutkia. Tutkittaessa vedenläpäisevyyttä ei ole suositeltavaa käyttää tislattua vettä, koska se antaa pienempiä vedenläpäisevyyksiä kuin tavallinen vesi.

Läpäisynesteen pitäisi olla ilmatonta. Ilma poistetaan nesteestä alipaineella tai keittämällä. Käytettävän alipaineen tulisi olla mahdollisimman suuri. Ilma vapautuu helpommin nesteestä, kun alipaineistettua astiaa ravistetaan tai käytetään magneettisekoittajaa alipaineen kanssa.

Joissakin tapauksissa on tarpeen tutkia hydraulista läpäisevyyttä suolavedellä tai kemikaaleilla. Kemikaaleilla mitattu hydraulinen läpäisevyys eroaa vastaavalla näytteellä mitatusta vedenläpäisevyydestä. Tulokset ovat osittain ristiriitaisia. Joillakin kemikaaleilla läpäisevyys on suurempi kuin vedenläpäisevyys, joillakin pienempi ja joissakin tapauksissa muutosta ei tapahdu. Muutokset selitetään yleensä maapartikkeleiden ja kemikaalien välisillä reaktioilla. Jos liuoksella on pieni dielektrinen vakio, se estää laajenemista ja aiheuttaa hydraulisen läpäisevyyden kohoamista. Vedellä on matalin dielektrinen vakio (80) ja siten pienin läpäisevyys. Alkoholilla ja asetonilla, joiden dielektrinen vakio on 20-35, läpäisevyys on suurempi. Ei-polaarisilla hiilivedyillä ja vastaavilla kemikaaleilla, joiden dielektrinen vakio on pienempi kuin 3, on suurin hydraulinen läpäisevyys. Tämän takia tislattulla vedellä on pienempi hydraulinen läpäisevyys kuin tavallisella vesijohtovedellä.

Jos pehmeäseinämaisessä laitteistossa läpäisynesteenä käytetään kemikaaleja tai suolavettä on olemassa vaara, että kemikaalit reagoivat kumikalvon kanssa. Tämän takia on tärkeää huolehtia materiaalin kemiallisesta kestävydestä. [Sjöholm 1994]

4.5 Näytteen koko

Vedenläpäisevyysskoeksessa käytettävälle näytteelle ei laskennallisesti ole kokorajoituksia. Kuitenkin, jos näytteen koko ei ole merkittävästi suurempi kuin partikkeleiden koko, mittauksilla ei ole todellista merkitystä. Yhdysvaltojen normien mukaan sekä pituuden että halkaisijan tulisi olla noin 6 kertaa suurempi kuin näytteen suurin partikkeli [Daniel 1994].

Yleensä oletetaan, että näytteen koko tulisi olla mahdollisimman suuri jotta näyte olisi mahdollisimman edustava. Lähteen [Benson et al 1994] mukaan in situ tehdyillä suurimittakaavaisilla kokeilla ja laboratoriossa pieniläpimittaisilla näytteillä tehdyillä kokeilla voi olla suuria eroja. Tämä voidaan havaita varsinkin, kun rakennetta ei ole tehty huolellisesti. Epähomogeenisen materiaalin ja huonon tiivistämisen seurauksena maahan jää ns. makrohuokosia. Laborato-

riossa koestettavissa pienemmissä näytteissä makrohuokosten esiintyminen ei ole niin todennäköistä. [Daniel 1994]

Häiriintymättömien näytteiden reunoille voi muodostua huokosia näytettä trimattaessa tai halkeamat voivat avautua jännityksen pienentyessä ja näin saatava vedenläpäisevyyden arvo on todellista suurempi. Häiriintymätöntä näytettä tulisikin käsitellä luonnontilaisessa jännitystilassa. Jos näytteessä on esimerkiksi hiekkalinssejä tai juurien reikiä, näytteen trimmaaminen voi levittää savea näytteen pään pinnalle ja huokokset tukkeentuvat. Tämä voidaan välttää käyttämällä näytteen käsittelyssä terävää veistä, joka leikkaa savea eikä hiero näytteen pintaa. Makrohuokokset tulisi sisällyttää näytteeseen, jolloin saadaan laboratoriokoe vastaamaan enemmän maastokoetta. Epäedustava näyte onkin suurin syy laboratoriossa ja maastossa mitattujen vedenläpäisevyyksien erolle.

4.6 Lämpötila

Maan vedenläpäisevyys vaihtelee lämpötilasta riippuen, koska veden tiheys ja varsinkin viskositeetti muuttuu lämpötilan muuttuessa. Vedenläpäisevyys muuttuu noin 3 % kun veden lämpötila muuttuu 1 °C [Daniel 1994]. Lämpötilan vaikutus voidaan ottaa huomioon veden viskositeetissa kaavan (5) mukaan.

$$q = -k_0 \frac{\gamma_w}{\mu} iA \quad (5)$$

Jos tiedetään maan vedenläpäisevyysskerroin k_1 lämpötilassa t_1 , saadaan vedenläpäisevyysskerroin k_2 lämpötilassa t_2 kaavalla 30

$$k_2 = \frac{\mu_1}{\mu_2} k_1 \quad (30)$$

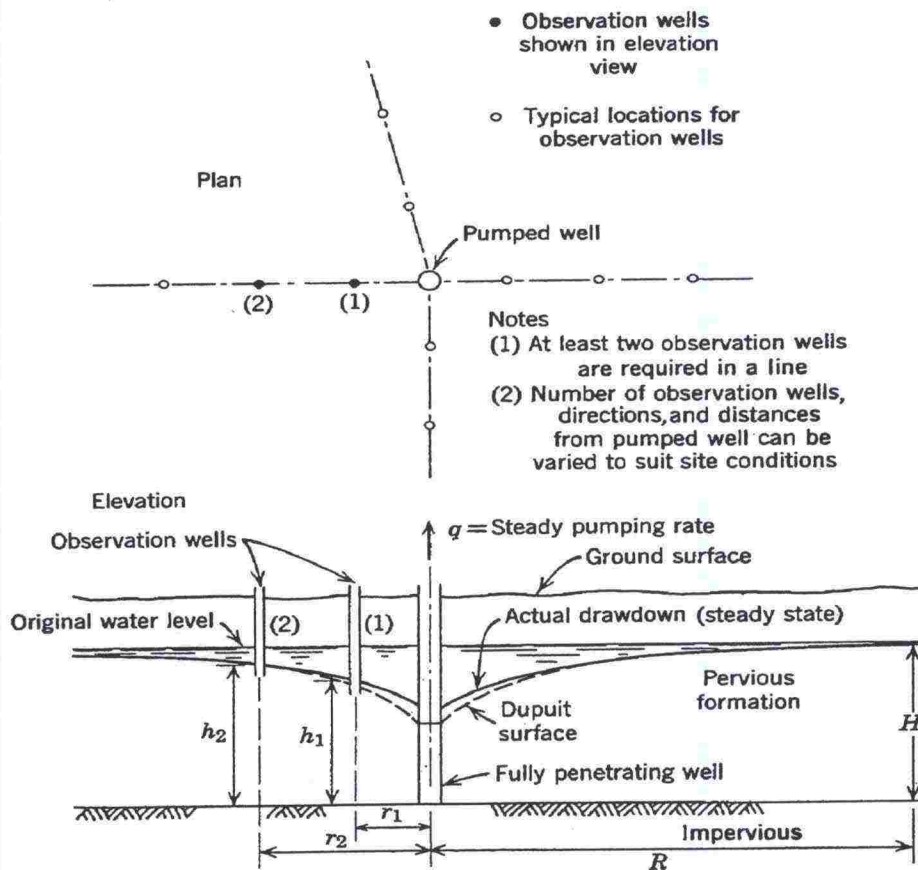
missä μ_1 on veden dynaaminen viskositeetti lämpötilassa t_1
 μ_2 veden dynaaminen viskositeetti lämpötilassa t_2 .

Lämpötilan vaihtelut voivat olla ongelma, jos materiaalilla on erittäin pieni vedenläpäisevyys. Veden tilavuuden muutokset näytteessä voivat kiihdyttää virtausta näytteen läpi. Joissakin tapauksissa voi olla tarpeellista tehdä koe lämpötilakontrolloiduissa olosuhteissa.

5 IN SITU -MITTAUSMENETELMÄT

5.1 Pumppauskoe kaivosta

Maan vedenläpäisevyys voidaan määrittää maastossa ns. pumppauskokeella. Siinä vettä pumpataan kaivoon tai pois kaivosta ja samalla tarkkaillaan veden pinnan muutosta lähellä sijaitsevista tarkkailukaivoista. Koetta jatketaan kunnes virtaus tasaantuu. Koejärjestely on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Tyypillinen koejärjestely vedenläpäisevyyden määrittämiseksi kaivosta pumppaamalla [Cedergren 1967].

Vakiovirtaustilassa kaivoon tuleva vesimäärä aikayksikössä saadaan kaavasta

$$q = kiA \quad (31)$$

Etäisyydellä r kaivosta ala, jonka läpi vesi virtaa, on $2\pi rh$. Käyttämällä ns. Dupuit'n oletusta $i = dh/dr$ ja olettamalla, että etäisyydellä R , jossa alenema on merkityksetön, $h = H$, saadaan kuvan 19 merkinnöin vedenläpäisevyysskertotimelle kaava 32.

$$k = \frac{q \ln (R/r)}{\pi(H^2 - h^2)} \quad (32)$$

Kaava on johdettu lähteessä [Cedergren 1967]. Kaava perustuu seuraaviin olettamuksiin:

1. Pumppauskaivo tunkeutuu kokonaan vettä sisältävän kerroksen läpi.
2. Virtaustila on vakio.
3. Vettä sisältävä kerros on homogeeninen isotrooppinen ja laajenee rajattomasti kaikkiin suuntiin
4. Dupuit'n otaksuma on voimassa.

Kokeen tuloksen tarkkuus riippuu siitä, kuinka hyvin nämä olettamukset on täytetty. Pumppaamista voidaan käyttää myös pohjaveden pinnan alentamiseen.

5.2 Vedenläpäisevyyden mittaus maahan poratusta reiästä tai putkesta

Vedenläpäisevyys voidaan mitata erilaisista maahan asennetuista putkista tai rei'istä. Reikä tai putki, josta mittaus tehdään, on yleensä halkaisijaltaan 5 - 15 cm. Mittaus voidaan tehdä joko muuttuvapainekokeena tai vakio-painekokeena.

Vedenläpäisevyyden mittaamiseen syvällä maassa ja pohjavedenpinnan alapuolella käytetään tavallisesti huokoskärkiä eli pietsometrejä, jotka porataan tai lyödään haluttuun syvyyteen. Asennuksen aikana kärjen on pysyttävä vedellä täytettynä. Näin varmistetaan, ettei kärki muuta todellista huokosveden tasoa ja huokospaine voidaan mitata. Vedenläpäisevyys mitataan nostamalla (ulosvirtauskoe) tai laskemalla (sisäänvirtauskoe) painetta huokoskärjessä. [Sjöholm et al 1993]

Vedenläpäisevyyskerroin lasketaan Darcyn lakiin perustuen kaavalla 33

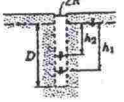
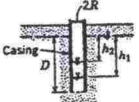
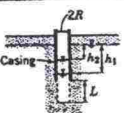
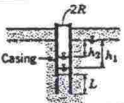
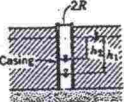
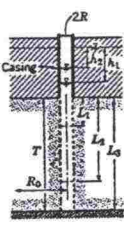
$$q = Fk\Delta h \quad (33)$$

missä	F	on	muotokerroin
	k		vedenläpäisevyyskerroin
	Δh		painekorkeuden muutos.

Muotokerroin F riippuu reiän ja/tai putken koosta ja muodosta. Erilaisia muotokertoimia on esitetty taulukossa 5 [Cedergren 1967].

Huokospainekärjet eivät yleensä sovi vedenläpäisevyyden mittaamiseen rakennetusta tiivistekerroksesta. Asennus aiheuttaa kerroksen häiriintymistä ja laite mittaa enimmäkseen vaakasuuntaista vedenläpäisevyyttä pieneltä alalta.

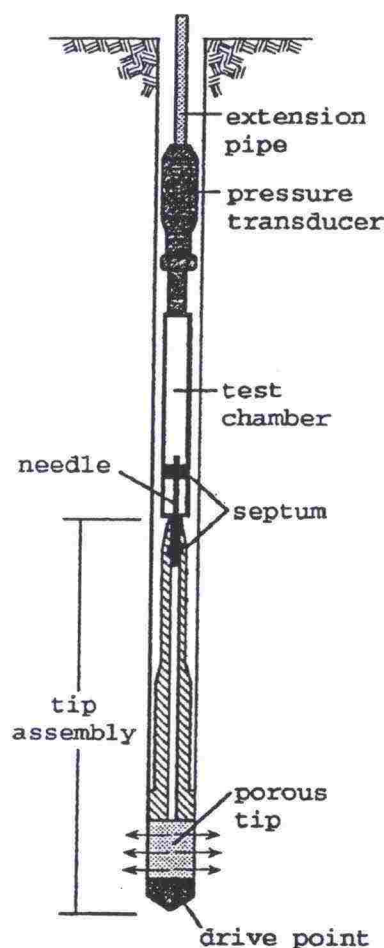
Taulukko 5. Muotokertoimia vedenläpäisevyyden laskemiseksi muuttuvapainekokeessa [Cedergren 1967].

	Condition	Diagram	Shape factor, F	Permeability, k by variable head test	Applicability
Observation well or piezometer in saturated isotropic stratum of infinite depth	(a) Uncased hole		$F = 16\pi DSR$	(for observation well of constant cross section) $k = \frac{R}{16DS} \times \frac{(h_2 - h_1)}{(t_2 - t_1)}$ for $\frac{D}{R} < 50$	Simplest method for permeability determination; not applicable in stratified soils; for values of S see Fig. 2.16
	(b) Cased hole, soil flush with bottom		$F = \frac{11R}{2}$	$k = \frac{2\pi R}{11(t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$ for 6 in. $\leq D \leq 60$ in.	Used for permeability determination at shallow depths below the water table; may yield unreliable results in falling head test with silting of bottom of hole
	(c) Cased hole, uncased or perforated extension of length L		$F = \frac{2\pi L}{\ln (L/R)}$	$k = \frac{R^2}{2L(t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{L}{R} \right) \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$ for $\frac{L}{R} > 8$	Used for permeability determinations at greater depths below water table
	(d) Cased hole, column of soil inside casing to height L		$F = \frac{11\pi R^2}{2\pi R + 11L}$	$k = \frac{2\pi R + 11L}{11(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$	Principal use is for permeability in vertical direction in anisotropic soils
Observation well or piezometer in aquifer with impervious upper layer	(e) Cased hole, opening flush with upper boundary of aquifer of infinite depth		$F = 4R$	$k = \frac{\pi R}{4(t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$	Used for permeability determination when surface impervious layer is relatively thin; may yield unreliable results in falling head test with silting of bottom of hole
	(f) Cased hole, uncased or perforated extension into aquifer of finite thickness:		(1) $F = C_1 R$	$k = \frac{\pi R}{C_1(t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$	Used for permeability determinations at depths greater than about 5 ft, for values of C , see Fig. 2.16
	(1) $\frac{L_1}{T} \leq 0.20$ (2) $0.2 < \frac{L_1}{T} < 0.85$ (3) $\frac{L_2}{T} = 1.00$ Note. R_0 equals effective radius to source at constant head		(2) $F = \frac{2\pi L_2}{\ln (L_2/R)}$	$k = \frac{R^2 \ln (L_2/R)}{2L_2(t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$ for $\frac{L_2}{R} > 8$	Used for permeability determinations at greater depths and for fine grained soils using porous intake point of piezometer
			(3) $F = \frac{2\pi L_2}{\ln (R_0/R)}$	$k = \frac{R^2 \ln (R_0/R)}{2L_2(t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$	Assume value of $\frac{R_0}{R} = 200$ for estimates unless observations wells are made to determine actual value of R_0

(From U.S. Navy Bureau of Yards and Docks.)

BAT-kärki

Laite on kehitetty Ruotsissa ja on nimetty kehittäjänsä B.A. Torstenssonin mukaan. BAT-kärki on varsinaisesti tarkoitettu huokosvedenpaineen mittaamiseen hienorakeisissa maissa. Muunnuttua BAT-kärkeä on käytetty Ruotsissa vedellä kyllästyneiden pehmeiden savien vedenläpäisevyyden mittaamiseen (kuva 20). 1980-luvun puolivälissä sitä käytettiin maatiivisteiden vedenläpäisevyyden mittaamiseen.



Kuva 20. BAT-huokospainekärki [Trautwein, Boutwell 1994].

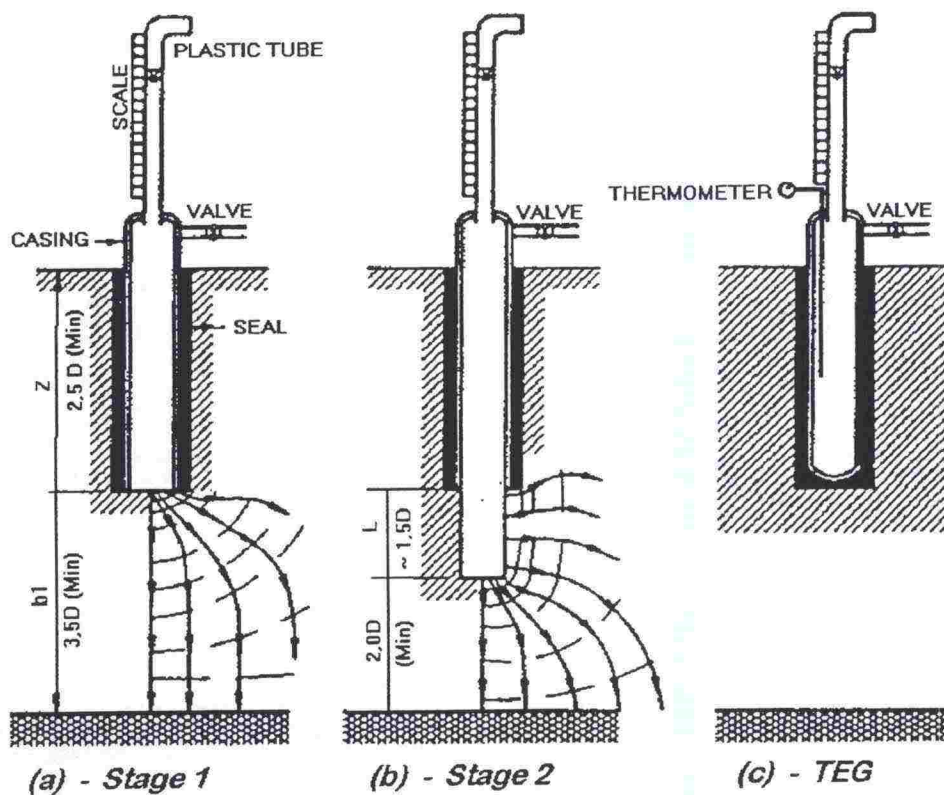
Mitattaessa kärkiosa upotetaan koealueeseen lyömällä, painamalla tai porattuun reikään. Kärjessä on huokoskivi, joka on suorassa kosketuksessa maahan. Kun kärki on asennettu maahan, koekammio, jonka alaosassa on kaksipäinen neula, painetaan kumikalvolla ilmatiiviisti suljettuun kärkiosaan. Koekammiossa on myös kumikalvo ja kammio on täytetty vedellä ja paineistettu ennen reikään laittamista. Neula läpäisee molemmat kumikalvot, kun kammio painetaan kärkiosaan. Paine koekammiossa pakottaa veden virtaamaan huokoskärjestä maahan. Veden virratessa maahan paine pienenee ja paineen muutos voidaan mitata kammion yläosaan yhdistetyllä anturilla. Ulosvirtaavan veden määrä voidaan määrittää Boylen lain avulla. Pystysuora vedenläpäisevyys voidaan edelleen laskea veden määrästä. Ellei anisotropiaa tunneta, BAT-kärjellä saatava vedenläpäisevyyden arvo on suurempi kuin todellinen vaakasuora vedenläpäisevyys ja pienempi kuin pystysuora vedenläpäisevyys.

BAT-kärjen suurin etu on lyhyt mittausaika. Mittausaika voi olla vain muutama minuutti tai korkeintaan muutama päivä. Kärjen halkaisija on vain 25 mm, joten koeala on jopa pienempi kuin laboratoriossa käytettävä näyteko. Mittausala on liian pieni, jotta makrohuokosten vaikutus vedenläpäisevyyteen tulisi otettua

huomioon. Kun kärkeä asennetaan, hienoaines tasoittaa koealueen pinnan. Tämä voi vaikuttaa tulokseen, koska hienoaines voi sulkea makrohuukosia.

Kaksivaiheinen kairareikäkoe (Two Stage Borehole Test)

Kaksivaiheinen kairareikäkoe (TSB-koe) tehdään maahan poratussa reiässä kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa mitataan virtausta reiän pohjasta suojaputken alareunan tasosta. Virtaukseen vaikuttaa tässä vaiheessa enimmäkseen pystysuora vedenläpäisevyys. Toisessa vaiheessa reikää syvennetään, mutta suojaputkea ei viedä syvemmälle. Tässä vaiheessa virtaukseen vaikuttaa enimmäkseen vaakasuora vedenläpäisevyys. Mittauksen periaate ja laitteisto on esitetty kuvassa 21.



Kuva 21. TSB- koe [Trautwein, Boutwell 1994].

Kahdesta vaiheesta saadaan kaksi yhtälöä, joista kaksi tuntematonta voidaan määrittää. Koe voidaan tehdä yksinkertaisuuden vuoksi myös muuttuvapainekeena. [Trautwein, Boutwell 1994]

Putkialenemamittaus

Suomessa on käytetty ns. putkialenemamittauksia maatiivistekerrosten vedenläpäisevyyden määrittämiseen. Menetelmää on alunperin käytetty patojen tiivistysydänten vedenläpäisevyyksien mittaamiseen. Putkialenemamittauksessa

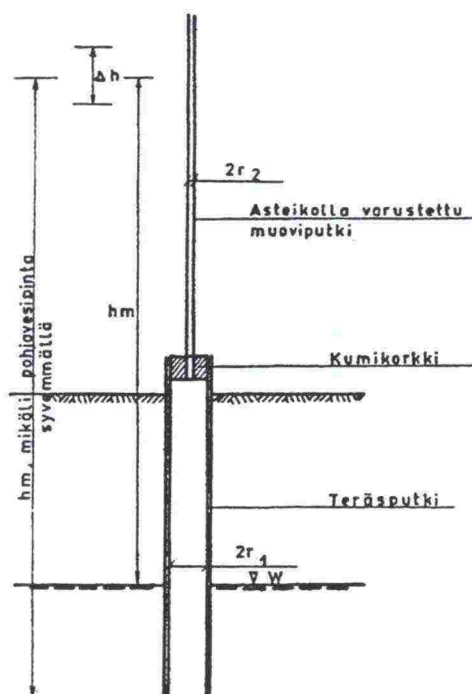
maahan lyödään alapäästään avonainen metalliputki noin 40 cm syvyyteen. Putkeen kiinnitetään kumikorkin avulla muoviputki, jossa on mitta-asteikko. Putkeen lisätään vettä ja vedenpinnan alenemisnopeuden annetaan tasaantua. Tämän jälkeen havaitaan veden pinnan alenema tietyllä aikavälillä. Alkukorkeus pidetään samana kaikissa mittauksissa. Putkialenemamittauksen tekemistä on käsitelty myös luvussa 6.

Vedenläpäisevyyskerroin lasketaan kolmen kokeen keskiarvona kaavalla 34 [Pohjaveden maatiivistesuojan tiivistäminen 1992].

$$k = \frac{2,3 R_2^2}{4 t R_1} \log \frac{h_1}{h_2} \quad (34)$$

missä	k	on	vedenläpäisevyyskerroin
	h_1		vesipatsaan alkukorkeus
	h_2		vesipatsaan korkeus kokeen lopussa
	t		vedenpinnan laskuun tasolta h_1 tasolle h_2 kuluva aika
	R_1		metalliputken sisäsäde
	R_2		muoviputken sisäsäde.

Laitteisto on esitetty kuvassa 22. Putkialenemamittari on yksinkertainen ja edullinen ja itse mittaus on helppo tehdä. Mittauksella ei kuitenkaan saada suoraan mitattua pystysuoraa vedenläpäisevyyttä, vaan vesi suotautuu kolmiulotteisesti maahan.

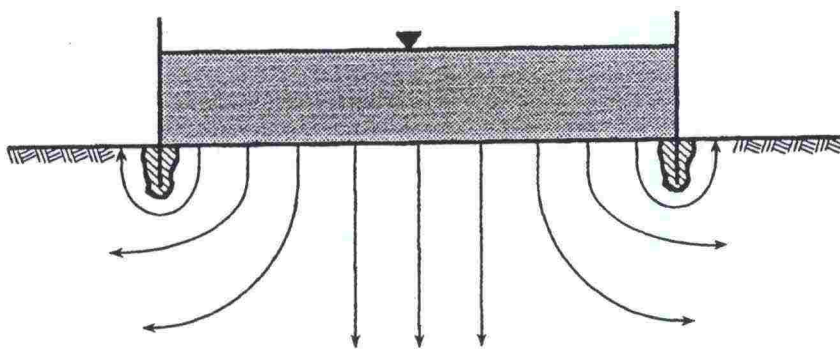


Kuva 22. Putkialenemamittauksen laitteisto [TVH 1970].

5.3 Infiltrometrit

5.3.1 Avoin yksirengasinfiltrometri

Menetelmä on yksinkertainen ja todennäköisesti laajimmin tunnettu infiltrometri-tyyppi. Laite koostuu maahan painettavasta renkaasta, joka täytetään vedellä (kuva 23). Veden pinnan lasku ja sitä vastaava aika havaitaan. Menetelmää on kehitetty alunperin maatalouden tutkimustarkoituksiin. Koetta on käytetty peltomaan kuivattumisnopeuden tutkimiseen eli maille, joiden vedenläpäisevyys on melko suuri.



Kuva 23. Avoin yksirengasinfiltrometri [Trautwein, Boutwell 1994].

Vedenläpäisevyys lasketaan imeytyvyyden eli infiltraation I avulla:

$$I = \frac{Q}{At} \quad (35)$$

missä	I	on	infiltraatio (veden imeytymisnopeus pinta-alayksikköä kohti)
	Q		imeytyneen veden tilavuus
	A		virtauksen ala
	t		aikaväli, missä Q on määritetty

Vedenläpäisevyyskerroin lasketaan kaavalla

$$k_v = \frac{Q}{iAt} = \frac{I}{i} \quad (36)$$

missä	i	on	gradientti = $\Delta h / \Delta z$
	Δh		paine korkeuden lasku
	Δz		virtauspolun pituus, jolle Δh on laskettu

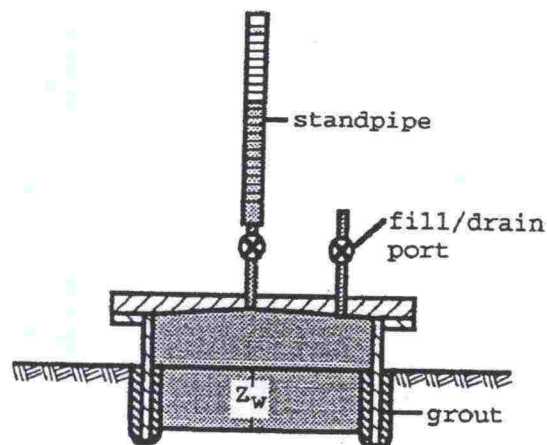
Kaava 36 perustuu oletukseen, että virtaustila on jatkuva, virtaustila on pysyvä ja maa on täysin vedellä kyllästynyt.

Infiltraation mittaaminen on vaikeaa huonosti vettä läpäiseville maille, koska veden pinta laskee hitaasti ja haihduntaa voi tapahtua. Haihduntaa voidaan tarkkailla astialla, joka on renkaan kokoinen, mutta kiinteäpohjainen. Havaittu haihdunta vähennetään infiltraatiorenkaan vedenpinnan alenemasta. Haihdunta voi olla suurempi kuin veden pinnan lasku.

Jotta kaavojen 35 ja 36 oletukset olisivat voimassa, olisi virtaus saatava jatkuvaksi ja maa täysin vedellä kyllästetyksi. Tämä on usein käytännössä mahdotonta varmistaa; tähän pyrittäessä kokeen tulisi kestää jopa 1-6 kuukautta. [Trautwein, Boutwell 1994]

5.3.2 Suljettu yksirengasinfiltrometri

Laitteisto koostuu renkaasta, kansilevystä ja mittausputkesta (kuva 24). Menetelmässä virtaus pyritään saamaan selvemmin yksidimensionaaliseksi kuin avoimessa renkaassa. Rengas upotetaan maahan, reunat tiivistetään bentonitilla ja rengas täytetään vedellä. Virtaus on yksidimensionaalista, kun vesirintaman syvyys on pienempi kuin upotussyvyys. Virtauksen mittaus tapahtuu havaitsemalla havaintoputken veden pinnan muutosta ajan suhteen. Koetta jatketaan, kunnes vesirintama saavuttaa upotussyvyyden, jolloin virtaus muuttuu kolmidimensionaaliseksi.



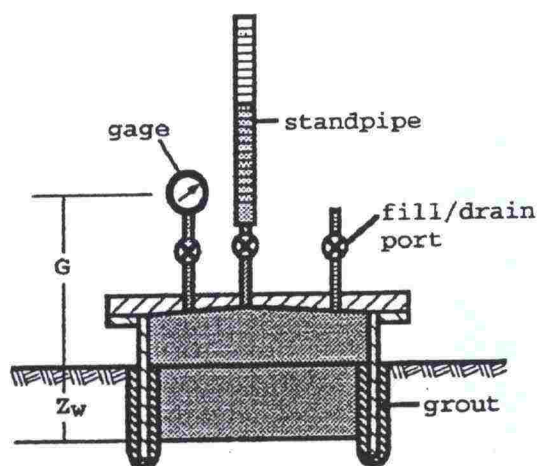
Kuva 24. Suljettu yksirengasinfiltrometri [Trautwein, Boutwell 1994].

Vaikka mittaustarkkuus lisääntyy valitsemalla ohut mittausputki, menetelmän kokonaistarkkuus on huono. Koska käytettävä painekorkeus on mittausputkesta johtuen melko korkea, riittävän hyvä reunojen tiivistäminen on vaikeaa ja vuotoja voi esiintyä. Vedenpaine renkaassa aiheuttaa nostetta, joka pyrkii nostamaan rengasta maasta. Vastapainon käyttö aiheuttaa renkaan painumista maahan ja vesi voi nousta havaintoputkessa. Pienikin painuma voi aiheuttaa merkittävää veden pinnan nousua havaintoputkessa. Myös lämpötilan vaihtelut voivat aiheuttaa renkaan ja veden tilavuuden muutoksia. Kun mitattava kerros on ohut, virtaus ei ehdi tasaantua, ennen kuin vesirintama on tavoittanut

upotussyvyyden. Vesirintaman aseman määrittäminen on myös ongelma. Lähteen [Trautwein, Boutwell 1994] mukaan menetelmä soveltuu maalle, jonka infiltraationopeus on suurempi kuin 10^{-6} m/s.

5.3.3 Air-Entry Permeameter (AEP)

Menetelmä on alunperin kehitetty karkearakeisten maalajien vedenläpäisevyyden määrittämiseen. Lähteen [Havlena, Stephens 1991] mukaan menetelmä sopii parhaiten suhteellisen kuivalle, kivettömälle maalle, jossa ei ole paljon juuria tai muita makrohuokosia. Laitteisto on esitetty kuvassa 25.



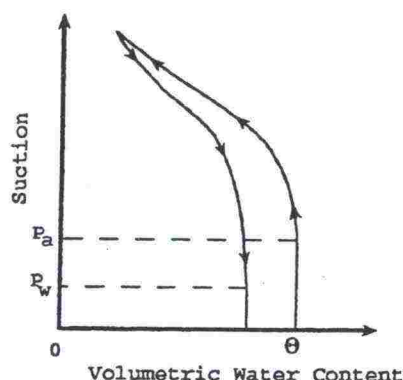
Kuva 25. Air-Entry permeameter [Trautwein, Boutwell 1994].

Menetelmällä voidaan määrittää vesirintaman sijainti ja sen avulla gradientti. Menetelmää on käytetty tiivistekerrosten vedenläpäisevyyden määrittämisessä ja mittaus on melko nopea.

Koe tehdään kahdessa vaiheessa. Ensimmäinen vaihe on verrattavissa imeytymiskokeeseen suljetulla yksirengasinfiltrometrillä. Koetta jatketaan, kunnes vesirintaman arvioidaan olevan lähellä renkaan alareunaa, jolloin veden lisääminen lopetetaan. Renkaassa olevaan veteen aiheutetaan alipaine, jota tarkkailaan päällyslevyyn kiinnitetystä mittarista. Kun maasta alkaa nousta ilmakuplia, on saavutettu maksimipaine (P_{max}), joka kirjataan ylös. Laitteisto puretaan ja koealue tutkitaan todellisen vesirintaman aseman määrittämiseksi.

Mittaus perustuu kuvassa 26 esitettyyn imupaineen ja tilavuusvesipitoisuuden suhteeseen. Vasemmanpuoleinen käyrä esittää kuivuvaa maata. Kun imupaine kasvaa, tilavuusvesipitoisuus θ säilyy vakiona, kunnes imupaine saavuttaa tietyn arvon, jolla suurimmat huokoset kuivuvat. P_a on siis paine, jossa ilmaa virtaa maahan. Kun imupaine edelleen kasvaa, maa kuivuu edelleen ja θ alenee. Oikeanpuoleinen käyränosa kuvaa maan kostumista eli infiltraatiota. Vesi imeytyy maahan uudelleen, ilma poistuu huokosista ja θ kasvaa. Koska osa ilmasta jää maahan, kostumiselle saadaan erilainen $P - \theta$ -kuvaaja. Jossain pisteessä vesi ei enää imeydy maahan ja θ pysyy vakiona, vaikka imupaine

kasvaisi. Tämä paine on P_w ja se vastaa imupainetta kosteusrintamassa (H_s). Lähteen mukaan karkearakeiselle maalle P_w on likimain $1/2P_s$.



Kuva 26. Imupaineen ja tilavuusvesipitoisuuden suhde [Trautwein, Boutwell 1994].

Kokeen aikana oletetaan, että suurin luettava imupaine esiintyy, kun P_a saavuttaa kosteusrintaman. Korjaamalla painemittarin lukemaa sen korkeudella kosteusrintamasta saadaan P_a . Jakamalla se kahdella saadaan P_w . Gradientti lasketaan seuraavasti:

$$i = \frac{H + Z_w + P_w}{Z_w} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} P_w &= P_a / 2 \\ P_a &= P_{max} - G - Z_w \end{aligned} \quad (38)$$

missä P_{max} on suurin mitattu paine.

Vedenläpäisevyyserroin saadaan infiltraation ja gradientin suhteena

$$k = l / i \quad (39)$$

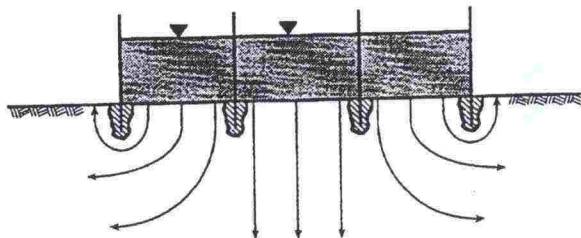
missä l määritetään infiltraatiovaiheen aikana.

Menetelmässä on useita virhemahdollisuuksia. Kaikki suljetun yksirengasinfiltrometrin epätarkkuudet esiintyvät infiltraatiovaiheen aikana: epätarkkuus virtaaman mittaamisessa, epäjatkuva virtaustila ja kosteusrintaman aseman määrittäminen. Koska menetelmää ei ole alunperin tarkoitettu hienorakeisille maalajeille, ei ole olemassa tarkkaa tietoa P_a :n ja P_w :n välisestä riippuvuudesta hienorakeisilla maalajeilla. Savisilla maalajeilla ilmakuplat eivät esiinny tasaisesti jakautuneena koepinnalla, kuten karkearakeisilla maalajeilla. Savessa ilmakuplat esiintyvät yhdessä tai kahdessa pisteessä, missä on mahdollisesti makrohuokonen tai tiivistämisen yhteydessä muodostunut ilmatasku.

Nämä epämääräisyydet pienentävät menetelmän luotettavuutta ja käyttökelpoisuutta huonosti vettä läpäisevillä maalajeilla. Infiltraatiovaiheen tarkkuutta voidaan parantaa käyttämällä kaksirengasinfiltrometriä.

5.3.4 Avoin kaksirengasinfiltrometri

Menetelmä on kehitetty pystysuoran virtaustilan saavuttamiseksi infiltraatiota mitattaessa. Laite koostuu kahdesta sisäkkäisestä renkaasta. Pienempi rengas ympäröi alueen, jossa virtaus on todellisuudessa yksidimensionaalista. Virtausta mitataan sisemmästä renkaasta. Veden pinnan on oltava sama molemmissa renkaissa, jolloin voidaan välttää virheet, jotka aiheutuvat veden virtauksesta renkaiden välillä. Laitteisto on esitetty kuvassa 27.



Kuva 27. Avoin kaksirengasinfiltrometri [Trautwein, Boutwell 1994].

Menetelmä on kuvattu ASTM:n standardissa D3385. Standardin mukaan renkaiden halkaisijat ovat 60 ja 30 cm, mikä ei vielä välttämättä takaa yksidimensionaalista virtausta tiivistekerroksissa. Menetelmä on alunperin tarkoitettu suurten virtausnopeuksien mittaamiseen, eikä sitä suositella käytettäväksi, kun infiltraationopeus on pienempi kuin 1×10^{-8} m/s. [Trautwein, Boutwell 1994]

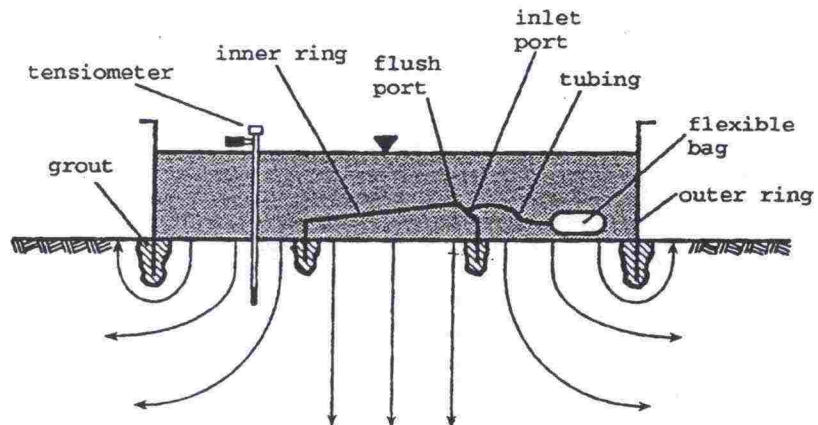
Tämänhetkisten Tielaitoksen ohjeiden mukaan maatiivisteen vedenläpäisevyys maastossa mitattuna täytyy olla pienempi kuin 5×10^{-6} m/s, joten menetelmän voidaan katsoa soveltuvan maatiivisteiden infiltraation mittaamiseen. Kun maakerroksen vedenläpäisevyys on pieni, virtauksen mittaaminen lyhyellä aikavälillä on vaikeaa. Pitkällä aikavälillä tarkan vedenläpäisevyyden arvon mittaaminen on vaikeaa mm. haihtumisen takia.

Tarkempi kuvaus kokeen tekemisestä ja vedenläpäisevyyden laskemisesta on esitetty luvussa 6.

5.3.5 Suljettu kaksirengasinfiltrometri

Suljettu kaksirengasinfiltrometri on kehitetty erityisesti maille, joiden infiltraationopeus on pienempi kuin 1×10^{-8} m/s. Menetelmä on kuvattu ASTM:n standardissa D5093. Laitteistossa on kaksi neliömäistä rengasta, joiden sivunpituudet ovat 3,7 m ja 1,5 m. Virtauksen mittaaminen tapahtuu yhdistämällä joustava, tietyn painoisella vesimäärällä täytetty pussi sisempään renkaaseen.

Kun vesi imeytyy maahan sisemmästä renkaasta, vastaava vesimäärä siirtyy pussista renkaaseen. Tietyn ajanjakson jälkeen pussi punnitaan. Painon muutoksen avulla saadaan maahan imeytyneen veden määrä. Imeytymisnopeus määritetään vesimäärän, sisemmän renkaan alan ja kuluneen ajan perusteella. Laitteisto on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Suljettu kaksirengasinfiltrometri [Trautwein, Boutwell 1994].

Menetelmällä on useita etuja avoimiin infiltrometreihin verrattuna. Haihtuminen on estetty lähes kokonaan, koska sisempi rengas on suljettu. Paine korkeus on koko ajan sama sisemmässä ja ulommassa renkaassa, joten gradienttia, joka aiheuttaisi veden virtaamista renkaasta toiseen, ei pääse muodostumaan. Tämän takia myös paine-ero sisemmän renkaan seinämässä on vakio eikä se laajene tai supistu, vaikka veden taso ulommassa renkaassa muuttuisi. [Trautwein, Boutwell 1994]

Renkaat ovat yleensä neliömäisiä, koska suorat reunat on helpompi kaivaa maahan kuin kaarevat. Ulompi rengas upotetaan yleensä 45 cm syvyyteen ja sisempi 10 cm syvyyteen.

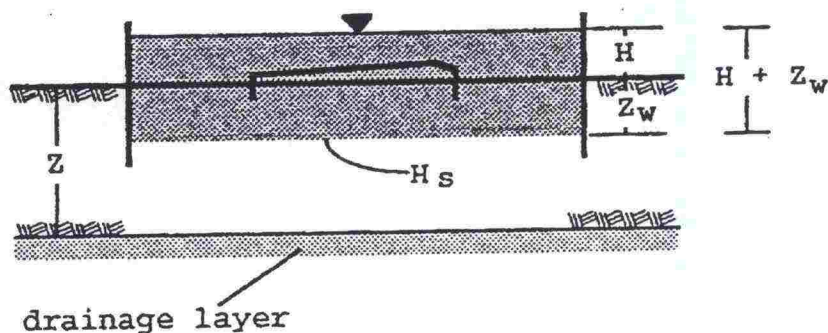
Kosteusrintaman sijaintia kokeen aikana mitataan tensiometrillä. Tensiometri koostuu suljetusta muoviputkesta, jonka toisessa päässä on huokoskärki ja toisessa painemittari. Tensiometri kyllästetään vedellä ja asetetaan koealueelle niin, että huokoskärki on alueella, jossa maa ei ole täysin vedellä kyllästynyt. Huokosvesi on hydraulisesti yhdistetty tensiometrissä olevaan veteen, jolloin mittari näyttää huokosvedenpaineen. Kärjen ympärillä maa ei ole kyllästynyt ja mittari näyttää imupainetta. Kun kosteusrintama saavuttaa kärjen, maa kyllästyy ja imupaine pienenee nolleen. Asentamalla tensiometrejä useille syvyyksille, kosteusrintaman paikka voidaan määrittää.

Lisäksi kokeen aikana voidaan mitata sisemmän renkaan muodonmuutosta, jos maa on paisuvaa (kuten esimerkiksi bentoniitti). Lämpötilan vaihtelut pyritään pitämään mahdollisimman pienenä kokeen aikana. Lämpötila vaikuttaa infiltraationopeuteen ja lämpötilan muutokset voivat aiheuttaa renkaiden muodonmuutosta.

Infiltraatio ja vedenläpäisevyysskerroin lasketaan kaavoilla 35 ja 36. Gradientti saadaan kaavasta 40, jonka merkinnät on esitetty kuvassa 29.

$$i = (H + Z_w + H_s)/Z_w \quad (40)$$

missä H on vedenpinnan korkeus mitattuna maan pinnasta
 Z_w kosteusrintaman syvyys
 H_s imupaine (painekorkeus) kosteusrintamassa



Kuva 29. Merkinnät gradientin laskemiseksi [Trautwein, Boutwell 1994].

Gradientti voidaan määrittää kolmella eri tavalla. Yksinkertaisin menetelmä on näennäisen vedenläpäisevyyden menetelmä. Gradientti lasketaan olettamalla, että $Z_w = Z$ ja $H_s = 0$. Menetelmän etu on se, ettei kosteusrintaman sijaintia tai imupainetta tarvitse tietää. Oikeita vedenläpäisevyyden arvoja saadaan ainoastaan, jos kosteusrintama on ohittanut koealueen, muuten gradientti on määrittämätön ja tulokseksi saadaan todellista suurempia vedenläpäisevyyden arvoja. Tämä menetelmä sopii tiivisterakenteen kelpoisuuden osoittamiseen, mutta sitä ei pidä käyttää päätettäessä kelvottomuudesta, koska saatava vedenläpäisevyyden arvo on todennäköisesti liian suuri.

Toisessa menetelmässä kosteusrintaman sijainti ja imupaineen suuruus on tiedettävä. Nyt oletetaan, että H_s on yhtä suuri kuin ympäröivä imupaine ja että se voidaan laskea suoraan yhteen vetovoimatermien kanssa. Menetelmällä saatavat vedenläpäisevyyden arvot ovat todellista arvoa pienempiä, joten sitä ei suositella käytettäväksi.

Kolmas menetelmä lähtee olettamuksesta, että $H_s = 0$. Tiedot kokeista, joissa kosteusrintama on ohittanut kokonaan koealueen, osoittavat menetelmän luotettavuutta. Näissä kokeissa infiltraationopeuden muutos kokeen alun ja lopun välillä voidaan laskea johtuvan Z_w :n muutoksesta. Jos ympäröivää imupainetta käytettäisiin gradientin laskemisessa, olisi oletettava paljon suurempi muutos. Menetelmä antaa yleensä todellista suurempia vedenläpäisevyyden arvoja, joten sitä suositellaan käytettäväksi tiivistekerrosten vedenläpäisevyyttä määritettäessä.

6 LABORATORIO- JA MAASTOMITTAUKSET

6.1 Koemateriaalit

Vanhemmissa tutkimuksissa pohjavesisuojaukseen käytettäväksi suunnitelluista materiaaleista on yleensä tehty laboratoriossa rakeisuusmääritys ja proctorkoe sekä vedenläpäisevyyden määritys vakio- tai muuttuvapainekokeena jäykkäseinäisessä sellissä. Tämänhetkisen käytännön mukaan pohjavesisuojausmateriaalit tutkitaan tekemällä rakeisuusmääritys, proctorkoe ja vedenläpäisevyyden määritys. Vedenläpäisevyys määritetään jäykkä- tai pehmeäseinäisellä laitteistolla materiaalin rakeisuuden ja arvioidun vedenläpäisevyyden mukaan. Lisäksi voidaan tehdä kiviaineksen kiintotiheyden määrittäminen, konsistenssirajat ja tiivistävyystutkimus ICT:llä.

Varsinaisesti tähän diplomityöhön liittyen tutkitut materiaalit ja niille tehdyt tutkimukset on esitetty taulukossa 6. Koetulokset on esitetty liitteissä 1 -9 ja tuloksia on käsitelty luvussa 7. Laboratoriokokeiden tulosten vertailussa on otettu mukaan myös aiemmin geokeskuksessa tutkittuja materiaaleja lähinnä rakeisuuden ja vedenläpäisevyyden vertailua varten. Nämä materiaalit ja niille tehdyt kokeet on esitetty taulukossa 7. Kokeiden tulokset on esitetty yhteenvedotaulukkona luvussa 7. Maastotutkimukset on tehty Tielaitoksen rakennuttamalla koealueella, jossa tutkitaan kolmen erilaisen maatiivisteen toimivuutta. Koealueella on tehty in situ mittauksia syksyllä heti rakentamisen jälkeen ja keväällä ensimmäisen talven jälkeen.

Materiaalien tunnuksia on määritetty maalajin mukaan kuitenkin niin, että moreenien kohdalla tunnuksien ei oteta lisämäärettä (esimerkiksi siHkMr -nimestä jätetään lisämääre si pois). Tunnuksien kuuluu lisäksi kaksimerkin numerokoodi, jotta samaa maalajia olevat näytteet voidaan erottaa toisistaan. Tarkoituksena on kerätä tiivistemateriaaleihin liittyvää tietokantaa jatkossakin.

Taulukko 6. Tämän tutkimuksen yhteydessä tutkitut materiaalit.

Tunnus	Maalaji	Laboratoriotutkimukset					Maastotutkimukset	
		Proctorkoe	Tiivistävyys ICT:llä	Vedenläpäisevyys			Putki- alenema	Kaksir. infiltrom.
laSa01	laSa	x		x	x	x	x	x
siHk03	siHk	x	x	x	x		x	x
laSa02	laSa			x				
hHk04	hHk				x			
hHk05	hHk				x			
HkMr02	siHkMr	x		x				
laSa03	laSa	x		x		x		
HkB01	HkB	x		x				
liSa01	liSa					x		

Taulukko 7. Aiemmin geokeskuksessa tutkitut materiaalit.

Tunnus	Maalaji	Laboratoriotutkimukset	
		Proctorkoe	Vedenläpäisevyys
hkSi01	hkSi	x	x
hkSi02	hkSi	x	x
keHk01	keHk		x
Si01	Si		x
Si02	Si		x
siHk01	siHk		x
siHk02	siHk		x
hHk01	hHk		x
hHk02	hHk	x	x
hHk03	hHk	x	x
kaHk01	kaHk	x	x
srHk01	srHk	x	x
HkMr01	HkMr	x	x
hkSr01	hkSr	x	x

6.2 Laboratoriotutkimukset

6.2.1 Rakeisuus

Tielaitoksen pohjavesisuojausohjeiden [Pohjaveden suojaus tien kohdalla 1993] mukaan 0,074 mm läpäisyarvo tulisi olla tavalliselle maatiivisteelle 50 % ja erikoismaatiivisteelle 60 %, kun tiiviysaste on 90 %. Huolellisesti tiivistettynä raja-arvot täyttävien materiaalien vedenläpäisevyyškertoimen oletetaan rakenteessa olevan alle 5×10^{-6} m/s, mikä on toiminnallisena tavoitteena. Ohjeessa esitettyä tavallista maatiivisteitä ei suositella enää käytettäväksi. [Tietoa tien-suunnitteluun 24]

Rakeisuus on määritetty yleensä aina areometrimenetelmällä. Tutkitut materiaalit vaihtelivat rakeisuudeltaan laihasta savesta karkeaan hiekkaan. Materiaalit hHk04 ja hHk05 ovat pohjamaasta otettuja näytteitä alueelta, jonne on suunniteltu pohjavesisuojaus. Maabentonitista HkB01 on määritetty vain runkoaineen rakeisuus. Näillä materiaaleilla rakeisuusvaatimus ei aina täyty, mutta tielaitoksen ohjeen mukaan erikoismaatiivisteeksi soveltuu myös muu kivennäismaalaji, jonka vedenläpäisevyyserroin laboratoriossa on enintään 5×10^{-8} m/s.

6.2.2 Proctorkoe

Materiaalien maksimikuivairtoisuus ja optimivesipitoisuus määritettiin parannetulla proctor-kokeella (ks. luku 4.2). Menetelmä on kuvattu Tielaitoksen ohjeessa Rakentamisen laadunvarmistus, alusrakenne ja päällysrakenteen sitomattomat kerrokset (1994).

Maksimikuivairtoteiheyden ja optimivesipitoisuuden kuvaavat materiaalin tiiveintä tilaa ja nämä arvot annetaan yleensä työmaan laadunvalvonnan perusteeksi. Tiiviyssastevaatus voi tyypillisesti olla esimerkiksi 85 % tai 90 % maksimikuivairtoteiheydestä. Pohjavesisuojausohjeen mukaan tiivistemateriaalin vesipitoisuus saa olla 2 %-yksikköä pienempi tai 6 %-yksikköä suurempi kuin optimivesipitoisuus [Pohjaveden suojaus tien kohdalla 1993].

Tiivistystyön onnistumisen kannalta antaa koko proctorkuvaaja tärkeää tietoa materiaalin ominaisuuksista. Proctorkäyrästä voidaan määrittellä vesipitoisuusalue, missä tiivistäminen haluttuun tiiviyteen on teoreettisesti mahdollista.

Osalle materiaaleista proctorkoetta ei ole tehty ollenkaan, koska näytettä ei ole ollut riittävästi. Näillä materiaaleilla ei voida määrittellä tiiviyssastetta proctorkokeeseen verrattuna. Näytteet vedenläpäisevyyskoetta varten on tiivistetty vedellä kyllästyneeseen tilaan luonnontilaisessa vesipitoisuudessa.

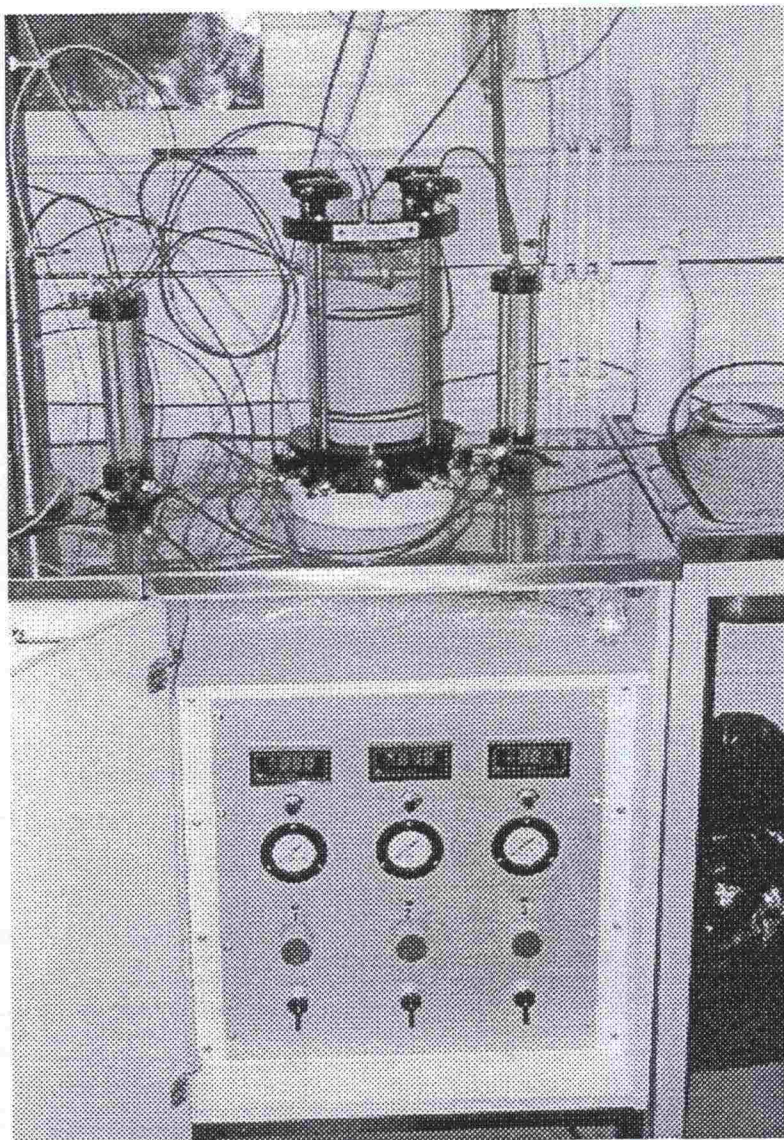
6.2.3 Tiivistävyyskoe IC-laitteella

Yhdelle materiaalille tehtiin tiivistävyystutkimus ICT:llä. Laitteen toimintaperiaate on esitetty luvussa 4.1 ja lähteessä [Roppola 1989]. Koska näytteet vedenläpäisevyyskoetta varten tehtiin ICT:llä, tarkoituksena oli samalla tutkia näytteenoton toistettavuutta.

Tutkimus tehtiin silttisellä hiekalla. Tutkimuksessa tehtiin tiivistäyksiä kuudella eri vesipitoisuudella, kullakin 2 rinnakkaista näytettä. Yhtä tiivistystä varten näytettä tarvittiin 1600 g, jolloin 100 mm halkaisijaltaan olevassa muotissa näytteestä tuli noin 100 mm korkea. Yli jääneestä näytteestä määritettiin vesipitoisuus. Näytteitä tiivistettiin 4 bar paineella enimmillään 400 työkierrosta. Näytettä seurattiin tiivistyksen aikana ja laite pysäytettiin heti, kun vesi alkoi tippua näytteen pohjalevyn ja sylinterin seinämän välisestä raosta. Tämä tiheys on oletettu suurimmaksi tiiviydeksi ko. vesipitoisuudessa ja maksimikuivairtoteiheyden on laskettu sen perusteella.

6.2.4 Vedenläpäisevyyden määrittäminen pehmeäseinäisellä laitteistolla

Vedenläpäisevyyden määrittämisessä hienorakeisille materiaaleille on käytetty kohdassa 3.3 esitettyä pehmeäseinäistä vedenläpäisevyyslaitteistoa. Laitteisto koostuu näytesellistä, kahdesta mittasellistä ja paineyksiköstä. Käytetyt näyte- ja mittasellit noudattavat ASTM:n standardia. Paineyksikkönä on käytetty automatisoidun kolmiaksisiaalilaitteiston paineyksikköä. Käytössä on kaksi näyteselliä mittaselleineen, mikä mahdollistaa kokeen tekemisen samanaikaisesti kahdelle näytteelle. Laitteisto on esitetty kuvassa 30.



Kuva 30. Pehmeäseinäinen vedenläpäisevyyslaitteisto yhdistettynä automaattisen kolmiakselialikolaitteiston paineyksikköön.

Näytteen tekeminen

Näyte tehdään kostuttamalla kuivattua materiaalia haluttuun vesipitoisuuteen. Kuivatun näytteen on annettava jäähtyä uunista ottamisen jälkeen. Jos vesi lisätään kuumaan näytteeseen, on haihtuminen nopeampaa. Koetta varten tarvitaan kostutettua näytettä noin 2 kg. Kuivattu maa-aines homogenisoidaan ja vettä lisätään tarvittava määrä. Näytteen sekoittamiseen on käytetty yleiskonetta, jolla voidaan sekoittaa kahteen näytteeseen tarvittava annos yhdellä kerralla. Laite ei kuitenkaan sovi kivisille materiaaleille. Yleiskoneella vesi sekoittuu tasaisesti ja massa homogenisoituu. Isompien erien sekoittamiseen on kokeiltu myös asfalttimassojen sekoitukseen tarkoitettua lapiosekoitinta, joka soveltuu paremmin myös kivisille materiaaleille. Käsien sekoittamiseen verrattuna koneella sekoittamisessa on etuna myös nopeus: vesipitoisuus ei ehdi muuttua haihtumisen takia. Moreenit ja muut kiviset maa-ainekset on sekoitetta-

va käsin. Veden lisäyksen jälkeen haihtuminen estetään ja kosteuden annetaan tasaantua seuraavaan päivään, savinäytteillä vähintään 24 tuntia.

Näyte koetta varten on tehty IC-laitteella. Laitteen toimintaperiaate on esitetty luvussa 4.1. Kun tutkittavasta materiaalista on määritetty maksimikuivairtoteiheyden ja optimivesipitoisuus, voidaan laskea, mikä on haluttua tiivysastetta vastaava märkäirtoteiheyden. Laitteelle annetaan ohjaustiedoiksi näytteen massa ja haluttu märkäirtoteiheyden. Laite mittaa näytteen korkeutta ja lopettaa tiivistämisen, kun haluttua tiheyttä vastaava korkeus on saavutettu. Vedenläpäisevyydenkoetta varten näyte voidaan tiivistää IC-laitteella tarkalleen haluttuun tiivysasteeseen. Tähän käytettävä tiivistysenergia ei kuitenkaan ole tiedossa. Proctortiiivistyksessä sen sijaan tiivistysenergia on vakio, mutta tiivysastetta ei voida hallita yhtä tarkasti kuin ICT:llä.

Yleensä kaikista materiaaleista on tehty ainakin yksi koe optimivesipitoisuudessa ja 90 % tiiviydessä, jolloin kokeesta saatua tulosta voidaan verrata pohjavesisuojausohjeessa ilmoitettuun arvoon.

Jos materiaalille ei ole tehty proctorkoetta, pyritään näyte vedenläpäisevyydenkoetta varten saamaan luonnontilaiseen tiiviyteen. Usein materiaalista on käytettävissä vain häiriintynyt näyte, eikä luonnontilaisesta tilavuuspainoa ole määritetty. Tällöin voidaan näyte tiivistää ICT:llä luonnontilaisessa vesipitoisuudessa, kunnes muotin ja pohjalevyn välistä havaitaan tippuvan vettä. Laite pysäytetään välittömästi ja näytteen voidaan nyt olettaa olevan täysin vedellä kyllästetty ja lähellä luonnontilaisesta tiiviyttä. Oletuksena on, että luonnontilainen näyte on täysin vedellä kyllästetty.

Vedenläpäisevyydenkokeen tekeminen

Kokeet on tehty pääpiirteissään TEKES:n ohjeen mukaan. Sellipaine on ollut 220 kPa ja etu- ja takapaineen keskiarvo 190-200 kPa, jolloin tehokas jännitys on 20-30 kPa. Kyllästysvaiheessa etu- ja takapainetta on pidetty yhtä suurina ja näytteen on annettu kyllästyä 2-5 vrk, rakeisuudesta ja oletetusta vedenläpäisevyydestä riippuen. Etupainetta ei ole nostettu missään vaiheessa yli 200 kPa, jotta näytteen ympärillä oleva kumikalvo pysyisi tiiviisti näytettä vasten. Gradienttina kokeissa on käytetty 5-20, vedenläpäisevyydestä riippuen.

Kokeen alussa on tärkeää seurata, ettei sellissä oleva vesi pääse näytteeseen. Jos näin käy, on näyte purettava laitteistosta ja koe on aloitettava uudelleen. Koska näyte voi konsolidoitua kokeen aikana, sellin veden pinta voi laskea näytteen tilavuuden pienentyessä. Kokeen lopussa voidaan laskea, onko näytteen tilavuuden muutos sama kuin sellin veden pinnan perusteella. Jos sellin veden pinta laskee huomattavasti kokeen aikana, on vesi päässyt yleensä näytteen ja kumikalvon väliin. Tällöin vesi alkaa tulvia mittaselleihin ja koe on tehtävä uudestaan uudella näytteellä.

6.2.5 Vedenläpäisevyyden määrittäminen jäykkäseinäisellä laitteistolla

Jäykkäseinäinen laitteisto vastaa kohdassa 3.1 esitettyä TVH:n laitteistoa, jolla koe voidaan tehdä joko vakiopaine- tai muuttuvapainekokeena. Koesellinä käytetään muunnettua ICT-muottia, jossa pohjalevy on reitetty. Näyte tehdään ICT:llä edellä kuvattujen periaatteiden mukaisesti. Kun näyte on halutussa tiiviydessä, näytteen yläpuolelle laitetaan kostutettu suodatinhiekkä ja selli täytetään vedellä. Sellin kansi asetetaan paikoilleen ja vesiletkun liittämisen jälkeen ilma poistetaan ilmaushanojen kautta. Näytteen annetaan kyllästyä vakiopaineessa. Vakiopaine saadaan aikaiseksi ylivuotosäiliöllä. Laitteisto on vastaava kuin s. 18 kuvassa 6 esitetty jäykkäseinäinen vakiopainelaitteisto. Kyllästymisen jälkeen vesisäiliön tilalle vaihdetaan byretti, jos koe on tarkoitus tehdä muuttuvapainekokeena. Tämän jälkeen aloitetaan koe, kun on vielä tarkastettu, ettei letkuissa eikä näytesellissä ole ilmakuplia.

Jäykkäseinäistä laitteistoa on käytetty karkearakeisten materiaalien vedenläpäisevyyden määrittämiseen. Kokeita on tehty vakiopaine- ja muuttuvapainekokeina. Kyllästysvaiheessa on näytettä kyllästetty vakiopaineen avulla. Laitteistolla gradientti pystytään pitämään korkeintaan noin 1:n suuruisena.

6.2.6 Vedenläpäisevyyden määrittäminen CRS-ödometrikokeella

Vedenläpäisevyyden määrittämiseen voidaan käyttää CRS-koetta, jos näyte on riittävän hienorakeinen. CRS-kokeita on tehty luonnontilaisesta häiriintymättömästä näytteestä, tiivistekerroksesta otetusta häiriintymättömästä näytteestä ja ödometritrenkaaseen sullotusta häiritystä näytteestä.

Tiivistekerroksesta voidaan ottaa häiriintymätön näyte Geonor-näytteenottimen putkella. Putki lyödään varovasti tiivistekerrokseen, yläpään laitetaan korkki ja putki nostetaan ylös. Jos näytteenotto onnistuu, voidaan näytteestä määrittää samalla myös tilavuuspaino ja tiiviysaste rakenteessa.

Häiriintynyt savinäyte voidaan tiivistää ödometritrenkaaseen luonnontilaista kosteammassa, juoksevassa tilassa. Koetta jatketaan, kunnes näyte on konsolidoitunut vähintään haluttuun tiiviyteen tai vesipitoisuuteen.

Kokeen listauksesta saadaan vedenläpäisevyys kokoonpuristuman tai jännityksen suhteena. Koska konsolidaationopeus hidastuu, näyttää vedenläpäisevyys pienenevän kokeen loppua kohti. Kokeen perusteella on epävarmaa ilmoittaa tarkkaa vedenläpäisevyyden arvoa. Kun koe tehdään luonnontilaiselle savelle, kokeen alussa vedenläpäisevyys vastaa luonnontilaisen saven vedenläpäisevyyttä. Jos koe on tehty häiritylle näytteelle, voidaan tulosta tulkita eri tavoin. Kun näytteen luonnontilainen vesipitoisuus tiedetään, voidaan häiriintyneen näytteen luonnontilaista tiiviyttä eli vesipitoisuutta vastaava vedenläpäisevyys määrittää. Tällöin koetta jatketaan, kunnes näytteen vesipitoisuus on pienempi kuin luonnontilainen vesipitoisuus. Vedenläpäisevyyden arvona voidaan ilmoittaa luonnontilaista vesipitoisuutta vastaavaa kokoonpuristumaa

vastaava vedenläpäisevyys. Tämä arvo on yleensä pienempi kuin todellisessa rakenteessa saavutettava arvo. Näin määritetty vedenläpäisevyys on oletettavasti pienin, mikä ko. materiaalilla voidaan saavuttaa. Vastaavasti voidaan määrittää vedenläpäisevyys tietyllä tilavuuspainolla eli tiiviiden arvolla, jos maksimitilavuuspaino tiedetään. Häirityn näytteen vedenläpäisevyys on aina pienempi kuin häiriintymättömän.

CRS-koe tehdään kuten kohdassa 3.2 on esitetty. Jos kokeen tarkoituksena on pelkästään vedenläpäisevyyden määrittäminen, tulosteina ovat kuvaajat suhteelliselle kokoonpuristumalle ja huokosvedenpaineelle tehokkaan jännityksen funktiona sekä suhteellinen kokoonpuristuma - vedenläpäisevyys (log) -kuvaaja.

6.3 Koekohteessa tehtyt maastomittaukset

6.3.1 Putkialenemamittaukset

Putkialenemamittausta on käytetty useissa pohjavesisuojauskohteissa. Mittaus tehdään maahan lyödyllä alapäästään avonaisella messinkiputkella. Messinkiputken pituus on 50 cm ja sisähalkaisija 3,5 cm ja sen yläpään kiinnitetään kumitulpalla noin 1 m pituinen akryylimuovinen havaintoputki, jossa on mitta-asteikko.

Messinkiputki upotetaan maahan käyttäen päästään kartionmuotoista, putken halkaisijaa hieman läpimitaltaan pienempää tankoa. Upotettaessa tangon kädensijalla lyödään putken yläpään varoen putken kallistumista tai heilumista. Kun putki oli lyöty halutulle syvyydelle, siihen lisätään vettä ja virtauksen annetaan tasaantua jonkin aikaa. Kun vedenpinta näyttää alenevan tasaisella nopeudella, kiinnitetään mittausputki, täytetään se vedellä ja aloitetaan varsinainen mittaus. Jokaisen mittauksen yhteydessä kellonaika ja veden pinnan korkeus merkitään ylös ja putki täytetään alkuperäiseen tasoon. Vedenläpäisevyyskertoinen arvo lasketaan vähintään kolmen mittauskerran keskiarvona.

Haihtumisen estämiseksi mittausputken yläpää suljettiin teipillä, ei kuitenkaan täysin tiivistä, jotta vedenpinta pääsee alenemaan.

Putki upotettiin 70 cm paksuiseen tiivistekerrokseen noin 40 cm syvyyteen. Syksyn mittauksessa osalla aluetta alemman tiivistyskerroksen epäiltiin jäätyneen, joten siinä putki upotettiin noin 20 cm eli siten, että putken kärki oli yhdellä kerralla rakennetun ja tiivistetyn kerroksen puolivälissä.

Kaikissa mittauksissa käytettiin suurinta mahdollista painekorkeutta eli mittaputki täytettiin täyteen mittauksen alussa. Ensin putkeen lisättiin vettä ja virtauksen annettiin tasaantua jonkin aikaa. Tässä vaiheessa arvioitiin sopiva mittausväli veden alenemisnopeuden perusteella. Jos vedenläpäisevyys on suuruusluokkaa 10^{-8} m/s, vedenpinta alenee mittausputkessa noin 10 cm tunnin aikana.

Mittausvälit vaihtelivat materiaalin mukaan 10 minuutista noin kolmeen tuntiin. Mittaus toistettiin kussakin putkessa vähintään 3 kertaa. Syksyn mittauksissa samalle materiaalille tehtiin mittaus viidestä eri kohdasta. Näin tuloksia saatiin riittävästi mittausten onnistumisen arviointiin.

Putken upotustavan vaikutus

Kevään mittauksissa kokeiltiin myös putken upottamista kairalla tehtyyn reikään. Kairan läpimitta oli hieman pienempi kuin mittausputken. Kokeilun tarkoituksena oli tutkia, vähentääkö reiän tekeminen maan tiivistymistä putkea lyötäessä. Putki lyötiin noin 2 cm tehtyä reikää syvemmälle, jotta reiän kärjen muoto olisi sama kuin lyömällä upotetuissa mittausputkissa ja putken alapää pysyisi hyvin paikallaan. Koska syksyn mittauksissa oli putkialenemamittauksissa saatu keskimäärin kymmenen kertaa pienempiä vedenläpäisevyyden arvoja kuin kaksirengasinfiltrimetrimittauksissa, oletettiin maan tiivistymisen putkea lyödessä vaikuttavan vedenläpäisevyyttä pienentävästi.

Vertailevat mittaukset tehtiin sijoittamalla samalle alueelle kaksi lyömällä upotettua ja kaksi kairaamalla upotettua putkea. Tulokset olivat ristiriidassa tiivistysoletusten kanssa ja lähes kaikissa mittauksissa kairattuun reikään upotetulla putkella saatu vedenläpäisevyys oli pienempi kuin lyömällä upotetussa putkessa. Reikä pitäisi pystyä tekemään siten, että maa saataisiin tarkemmin pois reiästä eikä tiivistymistä pääsisi tapahtumaan. Tulokset on esitetty liitteissä 1 ja 2 sekä luvussa 7.5.

6.3.2 Infiltrimetrimittaukset

Infiltrimetrimittaukset tehtiin pelkistetyllä kaksirengasinfiltrimetrillä. Menetelmää ei ollut aikaisemmin käytetty geokeskuksessa eikä muuallakaan tielaitoksessa. Kaksirengasinfiltrimetriin päädyttiin, koska haluttiin löytää uusia menetelmiä vedenläpäisevyyden mittaamiseen maastossa. Putkialenemamittauksen rinnalle haluttiin saada menetelmä, jossa veden imeytys tehtäisiin suuremmalle alalle. Avoimen kaksirengasinfiltrimetrimittauksen tarkkuuden katsottiin riittävän yksinkertaistettunakin maatiivisteiden vedenläpäisevyyden suuruusluokan arviointiin. Tarkempien arvojen tai hyvin pienen vedenläpäisevyyden määrittämiseen ei katsottu olevan tarvetta, koska maatiivisteiden voidaan katsoa olevan tarkoitukseensa soveltuvaa, kun vedenläpäisevyys on riittävän pieni.

Laitteisto koostuu kahdesta metallisesta renkaasta, joista suurempi on halkaisijaltaan 60 cm ja pienempi 30 cm. Renkaiden ainevahvuus on noin 3 mm ja ne ovat alareunastaan teroitettuja. Renkaat lyödään maahan sisäkkäin siten, että suurempi rengas upotetaan noin 15 cm ja pienempi noin 5 cm. ASTM:n normin mukaisesti tulee upotusvaiheessa varoa maan häiriintymistä renkaiden seinämän vieressä. Renkaat lyödään maahan käyttäen apuna puista lankkua ja lekaa. Lankkua siirretään jokaisen lyönnin jälkeen, jotta rengas uppoaa tasaisesti maahan. Kun renkaat on upotettu, tiivistetään varovasti renkaan seinämän vierus rengasta vasten.

Renkaiden upottaminen on vaikeampaa, jos tiivistekerros on moreenia tai maabentoniittia, jonka runkoaine on karkeaa, esimerkiksi murskettä. Kerrokset voivat olla myös ohuita (15 - 20 cm), jolloin on perusteltua jättää renkaat korkeammalle. Kerroksessa olevat kivet voivat painua renkaan reunan alla maahan muodostaen onkaloita, jolloin renkaan ja maan väli voidaan tiivistää bentoniittijauheella.

Renkaat täytetään vedellä siten, että molemmissa renkaissa vedenpinta on samalla tasolla täyttämisen aikana. Kun painekorkeus on yhtä suuri molemmissa renkaissa, voidaan olettaa virtauksen tapahtuvan ainoastaan maahan eikä renkaasta toiseen. Laskettaessa vettä renkaaseen, tulee varoa syövyttämästä maata vesisuihkulla varsinkin renkaan seinämän vierestä. Vesi onkin paras laskea pienellä paineella ja lisäksi voidaan käyttää renkaan sisällä "roiskeläppää", johon vesisuihku voidaan kohdistaa. Roiskeläppä poistetaan ennen varsinaista mittausta.

Ennen mittauksen aloittamista annetaan virtauksen tasaantua tai ensimmäisiä mittauksia ei käytetä varsinaista vedenläpäisevyyden arvoa määritettäessä. Ensimmäiset mittaukset kuitenkin antava tietoa maan kyllästymisestä ja auttavat määrittämään sopivan mittausvälin. Jos vedenpinta laskee tunnin aikana yhden senttimetrin, on vedenläpäisevyys noin 5×10^{-6} m/s. Jos tähän kuluu aikaa vuorokausi, vedenläpäisevyys on suuruusluokkaa 10^{-7} m/s. Kun vedenläpäisevyys on noin 10^{-8} m/s, veden pinta laskee vuorokaudessa vain yhden millimetrin. Tällöin vuorokaudenkin mittausaikaväli on liian lyhyt.

Mittaus tapahtuu vakipainekorkeuden periaatteella. Käytettävä painekorkeus on ASTM:n mukaan korkeintaan 15 cm. Painekorkeus valitaan maatiivisteen arvioidun vedenläpäisevyyden mukaan. Kokeissa käytettiin painekorkeutena savelle 15 cm ja silttiselle hiekalle 11 cm. Erityisiä ohjeita kullekin materiaalille sopivasta painekorkeudesta ei ole normissa annettu, vaan mittausväli ja materiaalin vedenläpäisevyys määräävät, kuinka suurta painekorkeutta käytetään. Veden pinnan korkeus mitataan molemmissa renkaissa ja renkaat täytetään alkuperäiseen painekorkeuteen jokaisen mittauskerran jälkeen.

Mittaustarkkuuden kannalta on ihanteellisinta, kun vesi laskee renkaassa selvästi havaittavan määrän mittausajanjakson aikana. Mittausten väli on valittava siten, että rengas ei kuitenkaan tyhjene kokonaan. Jos näin tapahtuu, on kyllästysvaihe otettava huomioon mittausta uudelleen aloitettaessa. Jos vedenpinta on laskenut molemmissa renkaissa vain muutaman millimetrin, ei renkaisiin kannata lisätä vettä elleivät vedenpinnat sisä- ja ulkorenkaassa poikkea toisistaan. Mittausten välinen aika tulisi olla pitempi mittausvirheen vähentämiseksi.

Mittausten välillä renkaat peitetään muovilla tai pressuilla mahdollisimman tiivisti, ettei sadevesi ja haihtuminen pääse vaikuttamaan tuloksiin. Haihtumista on vaikea estää kokonaan, jolloin se voi aiheuttaa virhettä mittauksitulokseen, varsinkin jos vedenläpäisevyys on pieni ja mittausväli pitkä.

Suurin osa tehdyistä mittauksista onnistui laitteiston toiminnan kannalta hyvin, koska käytetyt materiaalit olivat hienorakeisia eivätkä sisältäneet kiviä. Jos tiivistemateriaali sisältää kiviä, kuten esimerkiksi moreeni, renkaiden upottaminen on vaikeaa. Renkaan reunan alla painuva kivi voi tehdä onkalon, jolloin vesi syövyttää helposti kulkureitin renkaan seinämän vierestä. Hienorakeisissakin maissa näin kävi muutamissa mittausyrityksissä. Tällöin renkaat upotettiin uudestaan toiseen kohtaan.

Maastomittauksissa tulosten luotettavuuteen voivat vaikuttaa useat tekijät. Koska kaksirengasinfiltrometrimittauksesta ei ole aikaisempia kokemuksia, mittausten onnistumisen arviointi on epävarmaa. Rinnakkaisten mittausten antamia tuloksia vertailemalla voidaan kuitenkin päätellä kokeen toistettavuutta. Jotta vedenläpäisevyys voidaan määritellä infiltrometrikokeen tuloksista, pitäisi Darcyn lain olettamukset olla voimassa. Yleensä tiivistekerrokset ovat vain osittain vedellä kyllästettyjä eikä "näytteen" korkeus ole aina tarkasti tiedossa.

7 TULOSTEN TARKASTELU

7.1 Rakeisuuden vaikutus laboratoriossa mitattuun vedenläpäisevyyteen

Tiivistekerroksen rakentamisen kannalta paras materiaali on suhteistunut maaines, esimerkiksi hienoainespitoinen moreeni. Riittävä määrä hienoainesta varmistaa pienen vedenläpäisevyyden ja karkeampi osuus tekee materiaalista helposti tiivistettävän ja kerroksesta kantavamman kuin esimerkiksi savikerros. Rakeisuuskäyrän muodon ja lajittuneisuuden mittana käytetään usein kaarevuussuhdetta C_c ja raekokosuhdetta C_u . Kaarevuussuhde lasketaan kaavalla 41

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} \times d_{10}} \quad (41)$$

missä d_{10} , d_{30} ja d_{60} ovat 10, 30 ja 60 % läpäisyä vastaavat raekoot.

Raekokosuhde saadaan 60 % ja 10 % läpäisyä vastaavien raekokojen suhteenä kaavalla 42

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (42)$$

Vedenläpäisevyyden määrittäminen pelkästään rakeisuuskäyrän perusteella on epävarmaa, jos muita vedenläpäisevyyden vaikuttavia tekijöitä, kuten tiiviyyttä, ei oteta huomioon. Rakeisuuskäyrä antaa joka tapauksessa tietoa maan tiivistyvyydestä ja materiaalin käsiteltävyydestä. Materiaalin käyttäytyminen vesipitoisuuden mahdollisesti vaihdellessa vaikuttaa tiivistystyön onnistumiseen ja sitä kautta todelliseen rakenteeseen saavutettavaan vedenläpäisevyyteen.

Yhteenveto aiemmin tehtyjen kokeiden tuloksista on taulukossa 8. Niillä materiaaleilla, joille on tehty proctorkoe, vedenläpäisevyysskoheet on tehty yleensä 90 % proctortiiviydessä ja optimivesipitoisuudessa. Muut materiaalit on tiivistetty luonnontilaisessa vesipitoisuudessa ICT:llä.

Taulukko 8. Yhteenvedo aiemmin tehtyjen vedenläpäisevyyksikokeiden tuloksista.

Tunnus	Maalaji	Maksimi- kuiva- irtotiheys g/cm ³	Optimi- vesi- pitoisuus %	Tiivisyysaste D %	Vesipit. tiivistet- täessä %	Veden- läpäisevyy- kerroin laboratoriossa m/s	Veden- läpäisevyy- kokeen tyyppi
hkSi01	hkSi	2,02	8,0	90	8,0	7,4E-08	jäykkäs.
hkSi02	hkSi	1,84	13,0	90	13,0	5,2E-07	jäykkäs.
keHk01	keHk	-	-	luonnontil.	20,2	9,5E-08	jäykkäs.
Si01	Si	-	-	luonnontil.	21,9	3,7E-08	jäykkäs.
Si02	Si	-	-	luonnontil.	21,7	5,9E-08	jäykkäs.
siHk01	siHk	-	-	luonnontil.	19,8	8,2E-07	jäykkäs.
siHk02	siHk	-	-	luonnontil.	18,3	4,4E-07	jäykkäs.
hHk01	hHk	-	-	luonnontil.	18,0	1,1E-06	jäykkäs.
hHk02	hHk	1,73	16,0	90	14,0	8,3E-06	jäykkäs.
hHk03	hHk	2,26	7,6	90	7,6	3,3E-06	jäykkäs.
kaHk01	kaHk	2,02	11,0	90	11,0	1,2E-06	jäykkäs.
srHk01	srHk	2,07	10,0	90	10,0	1,2E-05	jäykkäs.
HkMr01	HkMr	2,13	10,0	90	10,0	7,5E-07	jäykkäs.
hkSr01	hkSr	2,21	8,0	90	8,0	1,7E-05	jäykkäs.

Taulukossa 9 on esitetty aiemmin tutkittujen materiaalien kaarevuus- ja raekokosuhteen sekä vedenläpäisevyyksikertoimien arvot laskettuna Hazenin kaavalla. Taulukossa on myös laboratoriossa määritetyt vedenläpäisevyyksikertoimien arvot.

Osa näistä aiemmin tutkituista materiaaleista on tarkoitettu maabentoniitin runkoaineeksi. Joukossa on myös näytteitä pohjamaasta, jolloin on tutkittu, onko pohjamaa itsestään riittävä suojaukseksi. Taulukon viisi alinta materiaalia ovat murskaustuotteita, joiden sopivuutta maabentoniitin runkoaineeksi on tutkittu.

Taulukko 9. Aiemmin tutkitut materiaalit: kaarevuussuhde, raekokosuhte ja vedenläpäisevyyserroin Hazenin kaavalla ja laboratoriossa määritettynä.

Tunnus	Maalaji	d ₁₀ mm	d ₃₀ mm	d ₅₀ mm	d ₆₀ mm	Kaarevuus- suhde C _c	Raekoko- suhde C _u	Veden- läpäisevyy- kerroin Hazenin kaavalla m/s	Veden- läpäisevyy- kerroin laboratoriossa m/s	Veden- läpäisevyy- kokeen tyyppi
hkSi01	hkSi	0,006	0,02	0,05	0,125	0,53	20,83	3,6E-07	7,4E-08	jäykkäs.
hkSi02	hkSi	0,008	0,025	0,04	0,05	1,56	6,25	6,4E-07	5,2E-07	jäykkäs.
keHk01	keHk	0,01	0,125	0,25	0,32	4,88	32,00	1,0E-06	9,5E-08	jäykkäs.
Si01	Si	0,003	0,01	0,015	0,02	1,41	6,25	1,0E-07	3,7E-08	jäykkäs.
Si02	Si	0,002	0,013	0,025	0,032	2,44	16,00	4,0E-08	5,9E-08	jäykkäs.
siHk01	siHk	0,016	0,04	0,74	0,1	1,00	6,25	2,6E-06	8,2E-07	jäykkäs.
siHk02	siHk	0,025	0,04	0,074	0,16	0,40	6,40	6,3E-06	4,4E-07	jäykkäs.
hHk01	hHk	0,032	0,12	0,17	0,22	2,05	6,88	1,0E-05	1,1E-06	jäykkäs.
hHk02	hHk	0,032	0,06	0,1	0,125	0,90	3,91	1,0E-05	8,3E-06	jäykkäs.
hHk03	hHk	0,13	1	2,5	3,2	2,40	24,62	1,7E-04	3,3E-06	jäykkäs.
kaHk01	kaHk	0,032	0,25	0,6	0,8	2,44	25,00	1,0E-05	1,2E-06	jäykkäs.
srHk01	srHk	0,22	0,8	1,25	2	1,45	9,09	4,8E-04	1,2E-05	jäykkäs.
HkMr01	HkMr	0,06	0,4	1	1,25	2,13	20,83	3,6E-05	7,5E-07	jäykkäs.
hkSr01	hkSr	0,2	1,25	3,2	5	1,56	25,00	4,0E-04	1,7E-05	jäykkäs.

Tähän tutkimukseen tutkittujen materiaalien rakeisuuskäyrät on esitetty liitteissä 1-9. Taulukossa 10 on esitetty materiaalien kaarevuussuhde, raekokosuhte ja vedenläpäisevyyškertoimet Hazenin kaavalla ja laboratorioissa määritettyinä.

Taulukko 10. Tässä tutkimuksessa tutkitut materiaalit: kaarevuussuhde, raekokosuhte ja vedenläpäisevyyškertoimen Hazenin kaavalla ja laboratorioissa määritettyinä.

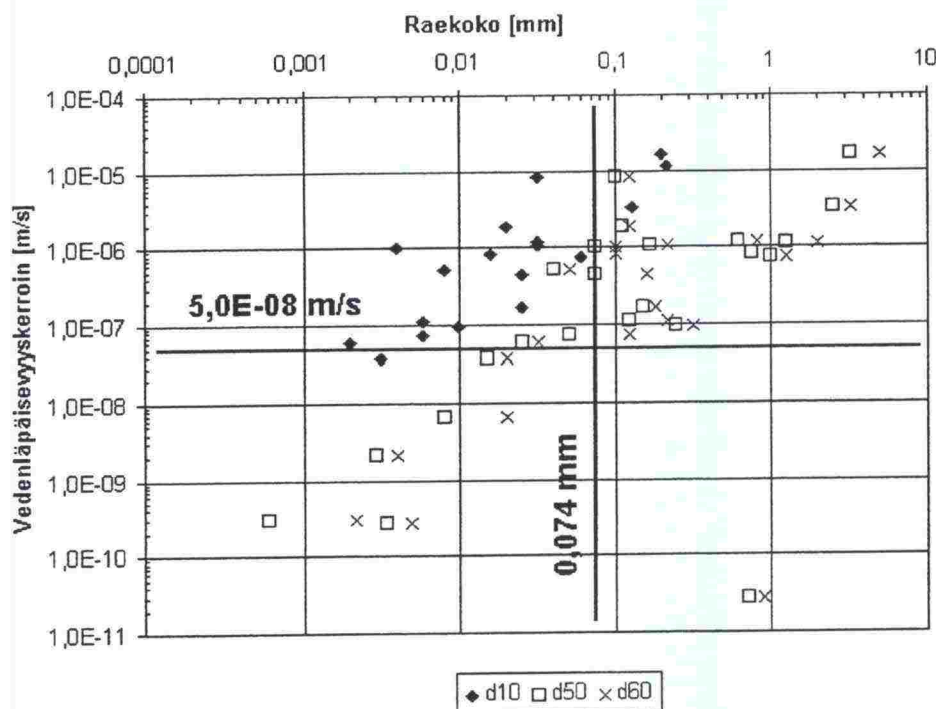
Tunnus	Maalaji	d ₁₀ mm	d ₃₀ mm	d ₅₀ mm	d ₆₀ mm	Kaarevuus- suhte C _c	Raekoko- suhte C _u	Veden- läpäisevyy- skertoimen Hazenin kaavalla m/s	Veden- läpäisevyy- skertoimen laboratoriossa m/s	Veden- läpäisevyy- skokeen tyyppi
laSa01	laSa	6E-04	0,002	0,008	0,02	0,33	33,33	3,6E-09	6,7E-09	pehmeäs.
siHk03	siHk	0,004	0,03	0,074	0,1	2,25	25,00	1,6E-07	1,0E-06	pehmeäs.
laSa02	laSa	6E-04	0,002	0,004	0,005	0,13	0,83	3,6E-09	2,9E-10	pehmeäs.
hHk04	hHk	0,025	0,064	0,15	0,18	0,91	7,20	6,3E-06	1,7E-07	jäykkäs.
hHk05	hHk	0,02	0,06	0,11	0,125	1,44	6,25	4,0E-06	1,9E-06	jäykkäs.
HkMr02	siHkMr	0,006	0,036	0,125	0,22	0,98	36,67	3,6E-07	3,4E-07	pehmeäs.
laSa03	laSa	6E-04	0,002	0,003	0,004	1,67	6,67	3,6E-09	1,2E-09	pehmeäs.
HkB01	HkB *)	0,125	0,35	0,7	0,9	1,09	7,20	1,6E-04	3,3E-11	pehmeäs.
liSa01	liSa	6E-04	6E-04	6E-04	0,002	0,27	3,67	3,6E-09	3,0E-10	CRS

*) kaHk + 8 % bentoniittia

Hazenin kaavalla ja laboratorioissa määritettyjen vedenläpäisevyyškertoimien arvojen suhte vaihtelee noin 0,5 ja 50 välillä. Vedenläpäisevyyden määrittäminen pelkästään rakeisuuden perusteella ei siis aina ole edes suuruusluokaltaan oikeaan osuva arvo. Materiaali HkB01 on maabentoniitti, joka on tehty sekoittamalla karkeaa hiekkaa ja 8 p-% bentoniittia. Tälle materiaalille rakeisuuskäyrän tunnusluvut ovat puhtaasta karkeasta hiekasta. Tutkituilla savilla d₁₀ raekoot eivät ole tarkkoja, koska areometrikokeissa on määritetty ainoastaan 1 vrk arvo, joka vastaa savilla noin 0,0013 - 0,0015 mm raekokoa. Saville on oletettu Hazenin kaavassa d₁₀ arvoksi 0,006 mm.

Kuvassa 31 on esitetty raekokojen d₁₀, d₅₀ ja d₆₀ vaikutus laboratorioissa mitattuun vedenläpäisevyyden arvoon tutkituilla materiaaleilla. Savien d₁₀ vastaavia raekokoja ei ole esitetty kuvassa, koska niitä ei ole määritetty tarkasti. Raekoolle ja vedenläpäisevyyden arvolle ei tässä ole esitetty yhtälöitä, koska otos on melko pieni soveltuakseen tilastolliseen käsittelyyn. Kuvan perusteella voidaan kuitenkin arvioida d₁₀ raekoon korreloivan parhaiten vedenläpäisevyyden kanssa.

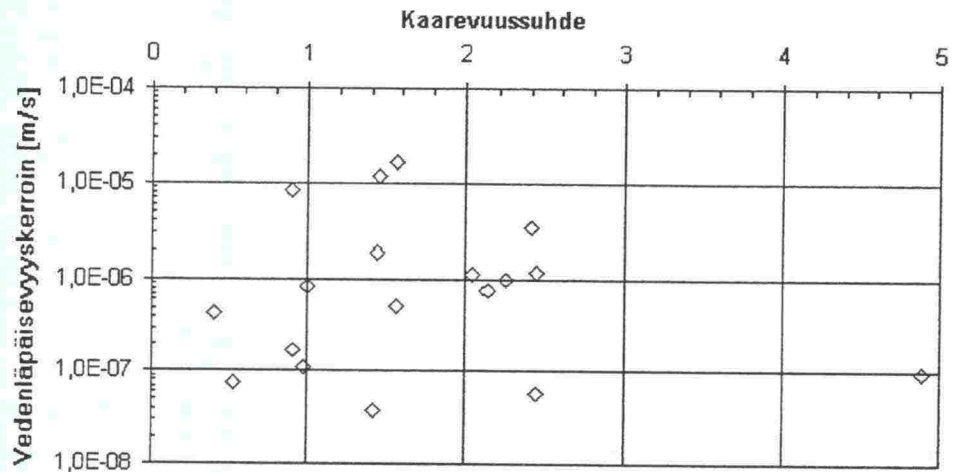
Tielaitoksen ohjeen mukaan tavallisen maatiivisteen raekokoa 0,074 mm vastaavan läpäisy-%:n tulisi olla vähintään 50 %, kun tiivysaste on 90 %. Erikoismaatiivisteelle hienoainespitoisuuden tulee olla 60 %, kun tiivysaste on 90 % (ks. luku 1.1). Näillä arvoilla pitäisi vedenläpäisevyyškertoimen laboratorioissa mitattuna olla enintään 5×10^{-8} m/s.



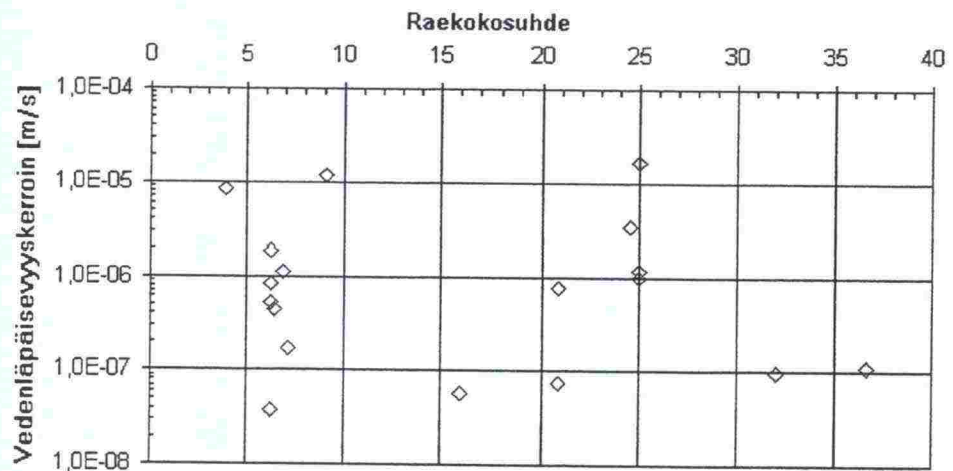
Kuva 31. Raekoon ja laboratoriossa mitatun vedenläpäisevyys-kertoimen suhde.

Kuvan 31 perusteella kaikki rakeisuusvaatimuksen täyttävät materiaalit eivät täytä oletuksena olevaa vedenläpäisevyysvaatimusta. Näiden kokeiden perusteella voitaisiin sanoa, että vedenläpäisevyyskerroin laboratoriossa määritettynä on 5×10^{-8} m/s, kun d_{50} on enintään 0,02 mm. Laboratorionäytteiden tiiviydet ovat vaihdellen 85 - 90 % ja osa näytteistä on tiivistetty luonnontilaisessa vesipitoisuudessa kyllästyneeseen tilaan, joten tiiviyden vaikutusta ei tässä ole varsinaisesti huomioitu. Kuitenkin näytteet, joiden tiiviysasteet on määritetty, täyttävät Tielaitoksen ohjeiden tiiviysastevaatimuksen. Ne näytteet, joiden tiiviysastetta ei ole määritetty, ovat tiiveimmässä tilassa, johon ne luonnontilaisessa vesipitoisuudessa voidaan tiivistää.

Kuvissa 32 ja 33 on esitetty kaarevuussuhteen ja raekokosuhteen vaikutus laboratoriossa mitattuun vedenläpäisevyyteen. Näistä ei löydy mitään selkeää yhteyttä vedenläpäisevyyden arvoon.



Kuva 32. Kaarevuussuhteen vaikutus laboratoriossa mitattuun vedenläpäisevyyskerrotimeen tutkituilla materiaaleilla.



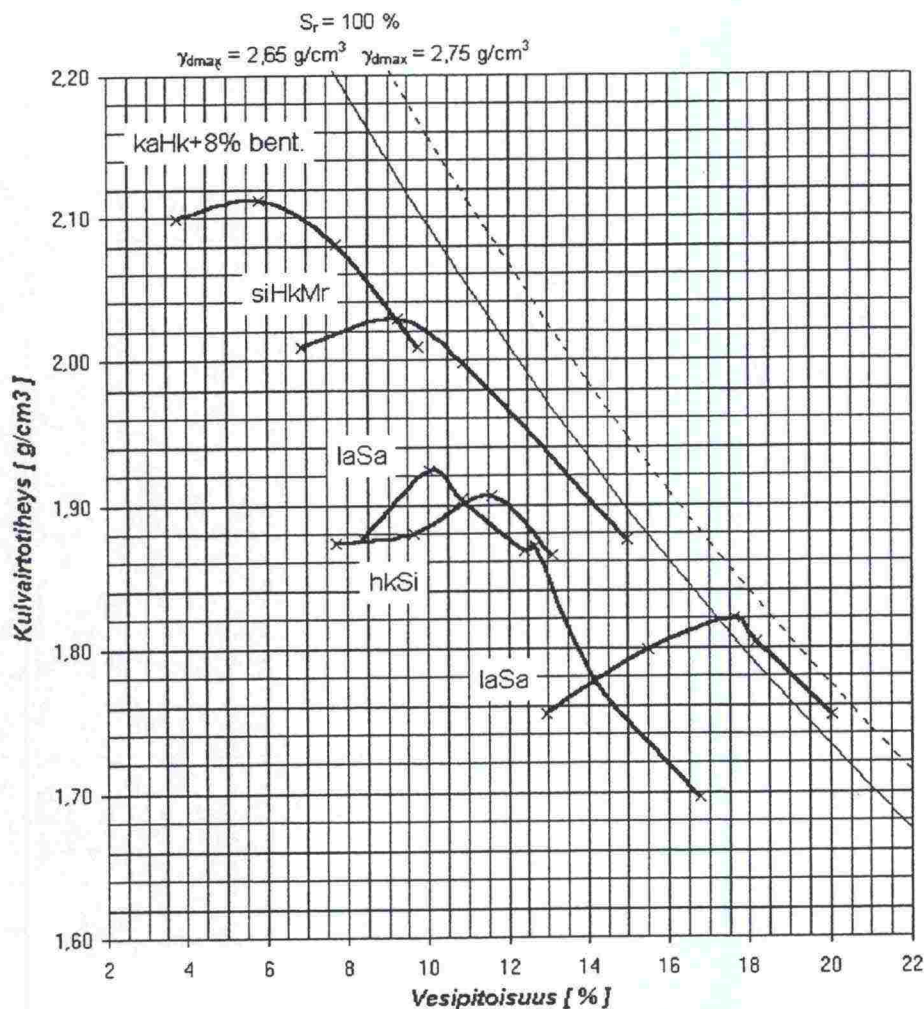
Kuva 33. Raekokosuhteen vaikutus laboratoriossa mitattuun vedenläpäisevyyskerrotimeen tutkituilla materiaaleilla.

7.2 Parannettu proctorkoe ja tiivistyvyysskoe IC-laitteella

Proctorkoe

Eri rakeisuuksille määritettyjä parannetun proctorkokeen käyriä on esitetty kuvassa 34. Kuvaan on piirretty kaksi 100% kyllästystilaa osoittavaa käyrää kahdelle eri kiviaineksen kiintotiheydelle. Suurin maksimikuivairtoteiys on saatu maabentoniitillä, jonka runkoaines on karkeaa hiekkaa ja bentoniitin määrä 8 %. Myös moreenin maksimikuivairtoteiys on korkea. Nämä kuvastavat hyvin suhteistuneiden maalajien parempaa tiivistyvyyttä, jolloin myös

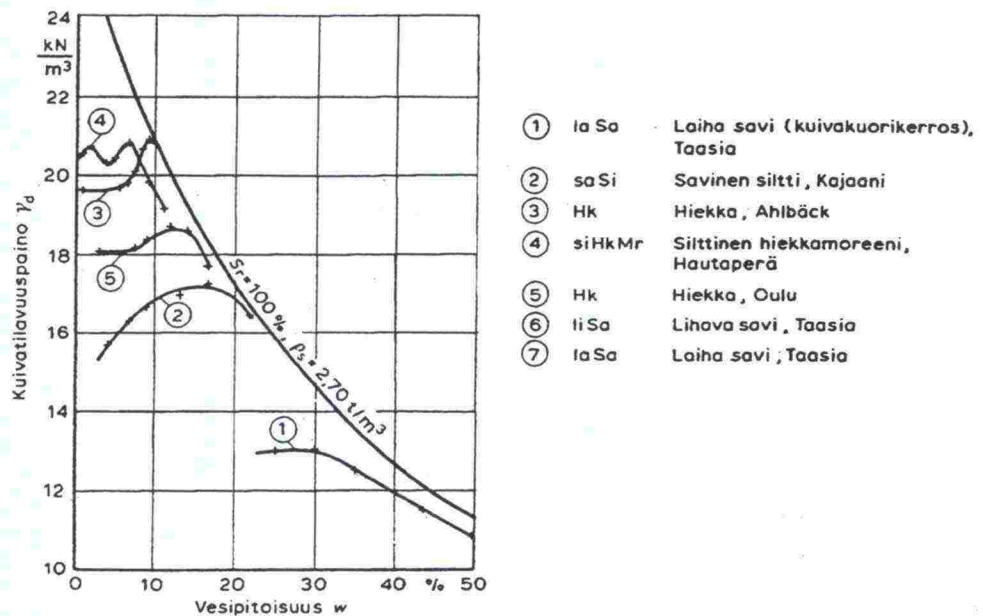
optimivesipitoisuus jää pieneksi. Näillä materiaaleilla myös käyrän huippu on melko loiva eli tiivistyksen pitäisi onnistua vesipitoisuuden vaihdellessa. Saville saadut käyrät eivät ole muodoltaan niin säännöllisiä. Proctorkokeen tekeminen savelle on vaikeaa, jos materiaali on vesipitoisuudessa, jossa se käyttäytyy plastisesti.



Kuva 34. Tutkittujen materiaalien proctorkäyriä.

Menetelmänä proctorkoe on alunperin tarkoitettu karkearakeisille maalajeille. TEKESin suosituksessa vedenläpäisevyyden mittaamenetelmiksi (1995) on suositettu maksimikuivairtitiheyden määrittämiseen standardi proctorkoetta, jossa tiivistysenergia on pienempi kuin parannetussa proctorkokeessa. Standardi proctorilla saatavat maksimikuivairtitiheydet ovat pienempiä ja optimivesipitoisuudet vastaavasti suurempia kuin parannetulla proctorilla saatavat arvot.

Kuvassa 35 on vertailun vuoksi lähteessä [Lojander 1985] esitettyjä proctorkäyriä eri materiaaleille.



Kuva 35. Kuivatilavuuspainon ja vesipitoisuuden välinen riippuvaisuus (parannettu proctor) [Lojander 1985].

Tiivistyvyyskoe IC-laitteella

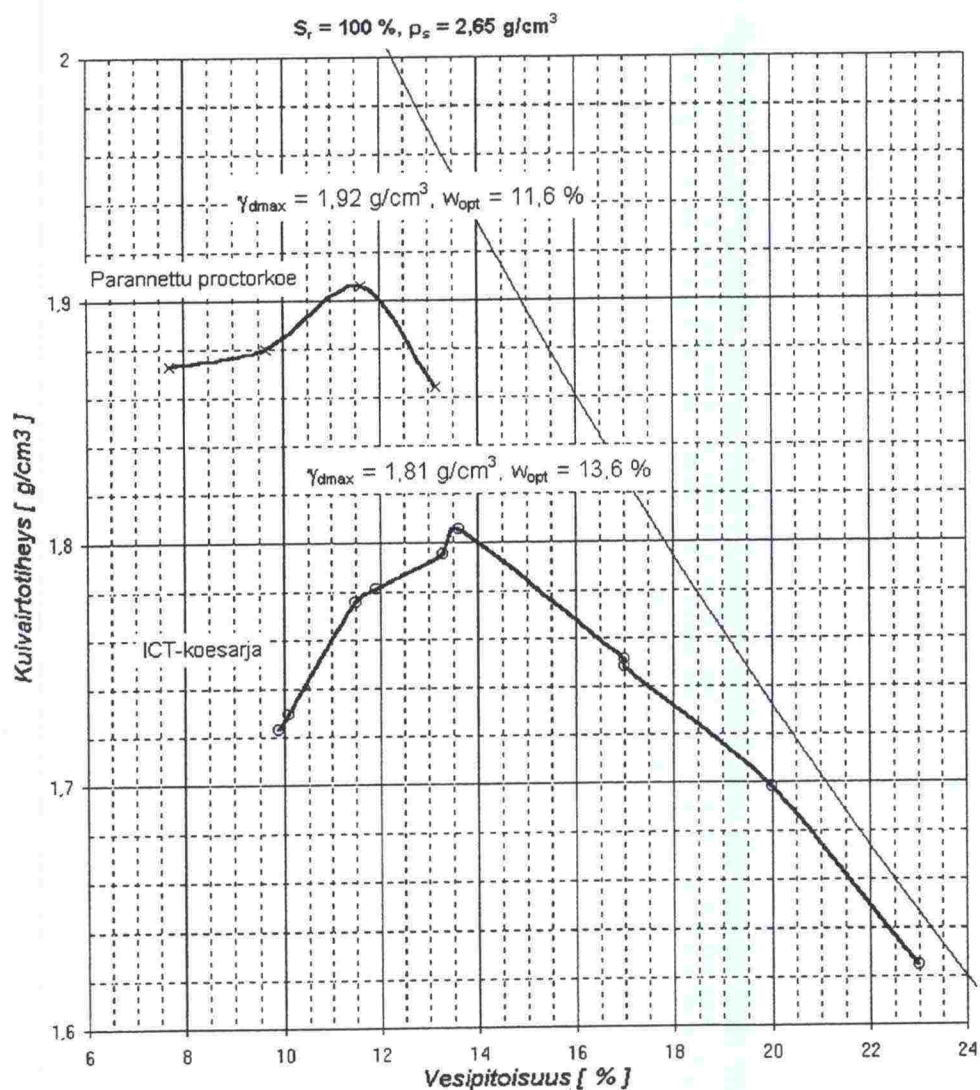
Tiivistyksiä on tehty silttiselle hiekalle kuudessa eri vesipitoisuudessa. Tarkoituksena oli tehdä kaksi koetta kussakin vesipitoisuudessa. Kosteimmalla ($w=23\%$) näytteellä toinen tiivistys jätettiin kuitenkin tekemättä, koska näyte oli niin märkä, että vesi alkoi tippua pohjalevyn ja sylinterin seinän välistä jo viiden tiivistyskierroksen jälkeen. Kokeiden työkierrokset-tiheyskuvaajat ja parannetun proctorkokeen tulokset ovat myös liitteessä 2.

Kokeiden tuloksena saadut maksimikuivairtitiheyden arvot ja niitä vastaavat vesipitoisuudet sekä samalle materiaalille tehdyn parannetun proctorkokeen tulokset on esitetty taulukossa 11. Taulukossa ei ole esitetty kokeen 10 tuloksia, jossa korkeuslukeman mittauksessa tapahtuneen virheen takia laite laski koekappaleen tilavuuden väärin.

Kuvassa 36 on esitetty hiekkaisen siltin proctorkäyrä (parannettu proctor) ja ICT-tiivistysten perusteella piirretty käyrä. ICT:llä saavutettu optimivesipitoisuus on suurempi ja vastaavasti maksimikuivairtitiheys pienempi kuin proctorkokeessa. Koska käytettyä tiivistysenergiaa ei voida määrittää, ei tuloksia voida kuitenkaan suoraan verrata proctorkokeeseen.

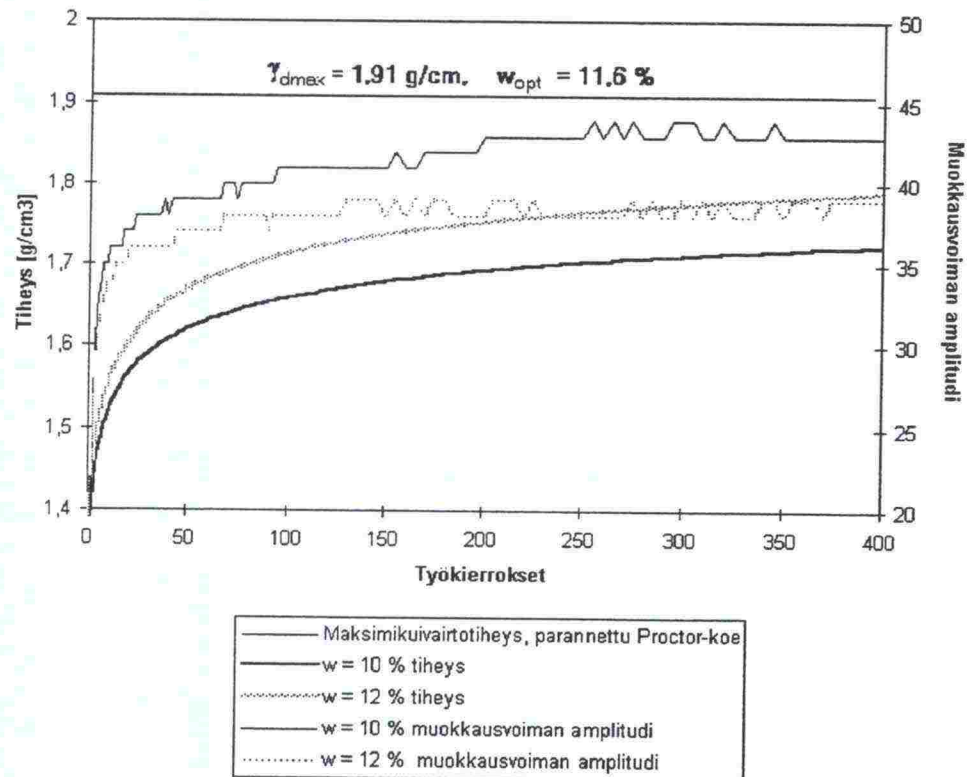
Taulukko 11. ICT-tiivistysten ja parannetun proctorkokeen tulokset (siHk03).

ICT-tiivistys				Parannettu proctor	
Koe	w %	γ_{dmax} g/cm ³	Työkierrokset	w %	γ_{dmax} g/cm ³
1	9,9	1,72	400	7,7	1,87
2	10,1	1,73	400	9,7	1,88
3	11,5	1,78	400	11,6	1,91
4	11,9	1,78	400	13,1	1,86
5	13,3	1,80	400		
6	13,6	1,81	400		
7	17,0	1,75	130		
8	17,0	1,75	110		
9	20,0	1,70	20		
11	23,0	1,62	5		



Kuva 36. Parannettu proctorkoe ja ICT-tiivistys siltisellä hiekalla.

Näytteen korkeus-työkierrokset kuvaajista voidaan päätellä vesipitoisuuden vaikutusta tiivistystyön vaikeuteen. Kuvassa 37 on esitetty näytteen tiivistyminen kahdessa erilaisessa vesipitoisuudessa.



Kuva 37. Silttisen hiekan tiivistyminen kahdessa eri vesipitoisuudessa.

Näyte, jonka vesipitoisuus on 12 %, tiivistyy alussa nopeammin kuin 10 % vesipitoisuudessa oleva näyte. Kuivempaan näytteeseen tarvitaan suurempi tiivistysvoima eikä sillä saavuteta yhtä suurta tiheyttä kuin kosteammalla näytteellä.

7.3 Pehmeäseinäisellä laitteistolla tehdyt kokeet

7.3.1 Tiiviysasteen ja tiivistyksen aikaisen vesipitoisuuden vaikutus laboratoriossa mitattuun vedenläpäisevyyteen

Yleensä kokeet on tehty 90 % proctortiiviydestä, koska se on ohjeen kriteeri. Jos hienoainespitoisuus on riittävän suuri, voi tiiviysastevaatimus olla pienempi (85 %).

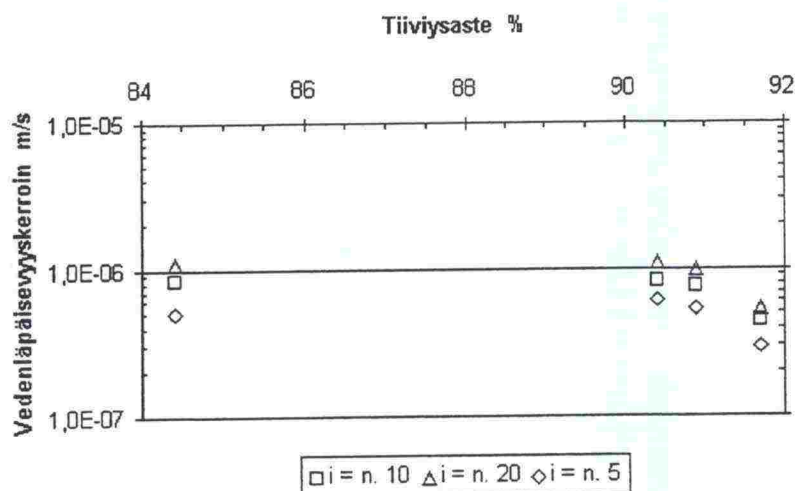
Materiaalille siHk03 tehtiin neljä vedenläpäisevyyskoetta, joiden tulokset on koottu taulukkoon 12. Kokeissa on käytetty kolmea eri gradienttia ja vedenläpäisevyyskertoimen arvo on laskettu kullekin gradientille erikseen. Näytteiden

kyllästysasteet kokeiden jälkeen olivat vaihdellen 95 - 100 %. Koelomakkeissa esiintyvät yli 100 % kyllästysasteet johtuvat näytteen tilavuuden mittauksen epätarkkuudesta kokeen jälkeen. Koelomakkeet on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 12. Materiaalille siHk03 pehmeäseinäisellä vedenläpäisevyyslaitteistolla tehdyt kokeet. Parannetulla proctorkokeella määritetty optimivesipitoisuus on 11,6 % ja maksimikuivavirtotiheys 1,91 g/cm³.

Koe	Tiivysaste [%]	Vesipitoisuus tiivistettäessä [%]	Gradientti	Vedenläpäisevyys kerrroin [m/s]
1	90,9	11,7	4,7	5,3E-07
			9,3	7,5E-07
			18,7	1,0E-06
2	90,4	13,5	4,7	6,1E-07
			9,4	8,2E-07
			18,9	1,1E-06
3	84,4	17,0	4,5	5,0E-07
			9,1	8,5E-07
			18,2	1,1E-06
4	91,7	17,0	4,9	2,9E-07
			9,9	4,4E-07
			19,7	5,3E-07

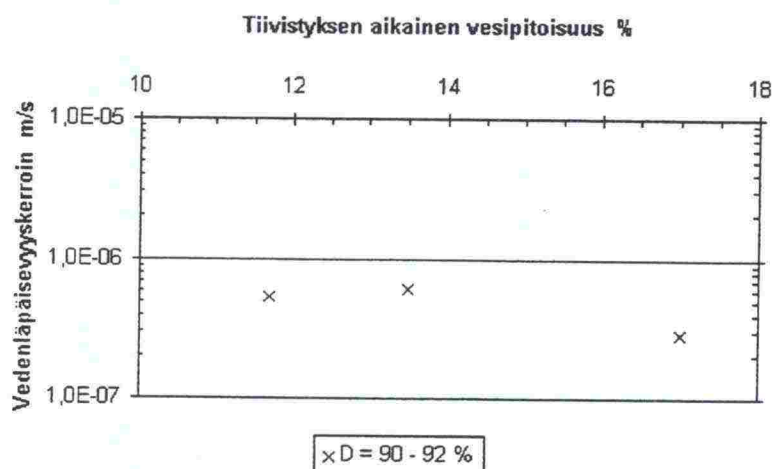
Kokeet 1 ja 2 sekä 3 ja 4 on tehty rinnakkaisina, eli ne ovat olleet kytkettynä paineyskikköön samanaikaisesti. Kuvassa 38 on esitetty tiivysasteen vaikutus vedenläpäisevyyteen eri gradienteilla.



Kuva 38. Vedenläpäisevyyskerroin eri tiivysasteissa ja eri gradienteilla (siltinen hiekka).

Vedenläpäisevyyserroin näyttää pienenevän tiiviysasteen kasvaessa. On otettava kuitenkin huomioon, että tiivistyksen aikainen vesipitoisuus ei ole sama kaikissa kokeissa. Kuvasta 38 myös gradientin vaikutus näkyy selvästi: mitä suurempi gradientti on, sitä suurempi on myös mitattu vedenläpäisevyyden arvo. Pohjavesisuojausrakenteissa gradientit ovat tavallisesti pieniä. Laboratoriokokeissa suurten gradienttien käytöllä pyritään nopeuttamaan kokeita.

Kuvassa 39 on esitetty tiivistyksen aikaisen vesipitoisuuden vaikutus vedenläpäisevyyserroimen arvoon noin 90 % tiiviydessä tehdyillä kokeilla. Vedenläpäisevyyserroimen arvot pienenevät, kun tiivistyksen aikainen vesipitoisuus kasvaa.



Kuva 39. Tiivistyksen aikaisen vesipitoisuuden vaikutus vedenläpäisevyyserroimen arvoon, kun tiiviysaste on 90 - 92 % (siltinen hiekka).

Materiaalille laSa01 on tehty 2 vedenläpäisevyysoetta, joissa gradienttina on käytetty noin 20 ja noin 30. Kokeiden tulokset on esitetty taulukossa 13. Koelomakkeet on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 13. Materiaalille laSa01 pehmeäseinäisellä vedenläpäisevyyslaitteistolla tehdyt kokeet. Parannetulla proctorkokeella määritetty optimivesipitoisuus on 11,2 % ja maksimikuivairtoiheys 1,92 g/cm³.

Koe	Tiiviysaste [%]	Vesipitoisuus tiivistettäessä [%]	Gradientti	Vedenläpäisevyyskerroin [m/s]
1	88,2	11,0	18,1	7,0E-09
			27,1	6,7E-09
2	90,4	13,5	19,1	3,0E-08
			28,7	2,8E-08

Pienin vedenläpäisevyyserroin on saatu löyhemmässä tilassa olevalla näytteellä, joka on tiivistetty 11 % vesipitoisuudessa. Teoriassa vedenläpäisevyyden pitäisi olla pienempi optimivesipitoisuutta kosteammassa tilassa tiivistetyllä

näytteellä. Kokeessa 1 näytteen tiivistämiseen ICT:llä on tarvittu 400 kierrosta, eikä näyte ole tiivistynyt juuri lainkaan viimeisellä sadalla kierroksella (ks liite 1). Näytteen 2 tiivistäminen on tapahtunut helpommin ja 90 % tiiviys on saavutettu jo 22 kierroksella. Kokeessa 2 suuremman vedenläpäisevyyden syynä voi siis olla näytteen tekemiseen käytetty pienempi tiivistysenergia. Samasta syystä voi näyte olla jäänyt epähomogeeniseksi. Toisaalta taas kokeen 1 näytteen suuri tiivistysenergia on voinut aiheuttaa näytteen päiden tiivistymisen keskikohtaa tiiviimmiksi.

Kokeiden toistettavuus

Materiaalille HkMr02 on tehty 2 koetta, joissa näytteet on tiivistetty optimivesipitoisuudessa. Kokeet on tehty rinnakkaisina kokeina. Saadut vedenläpäisevyyden arvot poikkeavat toisistaan hyvin vähän, joten kokeita voidaan pitää onnistuneina ja kokeista saatuja arvoja luotettavina. Tulokset on koottu taulukkoon 14. Koelomakkeet on esitetty liitteessä 6.

Taulukko 14. Materiaalille HkMr02 pehmeäseinäisellä vedenläpäisevyyslaitteistolla tehdyt kokeet. Parannetulla proctorkokeella määritetty optimivesipitoisuus on 5,8 % ja maksimikuivairtoiheys $2,11 \text{ g/cm}^3$.

Koe	Tiivysaste [%]	Vesipitoisuus tiivistettäessä [%]	Gradientti	Veden- läpäisevyys kerrroin [m/s]
1	90,0	5,8	9,7	1,3E-07
			15,5	1,4E-07
			19,3	3,2E-07
2	90,0	5,8	9,7	1,1E-07
			15,5	1,5E-07
			19,3	3,6E-07

Kokeiden toistettavuuteen vaikuttaa eniten näytteen homogeenisuus ja kyllästysaste. Savinäytteet voivat konsolidoitua jonkin verran kyllästysvaiheen aikana. Jos varsinainen vedenläpäisevyyden mittaus aloitetaan ennen kuin näyte on konsolidoitunut käytettävään jännitystilaan, voi tämä aiheuttaa virhettä mitattaessa mittasellien vesimääriä. Tällöin laskettu vedenläpäisevyyden arvo on todellista suurempi ja näytteeseen menevän ja siitä poistuvan veden määrät voivat olla erisuuria.

Jos näyte ei ole täysin vedellä kyllästynyt, voi näytteessä oleva ilma hidastaa veden kulkua. Tämä aiheuttaa sen, että laskettu vedenläpäisevyyden arvo on todellista pienempi.

7.4 CRS-kokeiden tulokset

CRS- kokeita on tehty kolmelle erilaiselle savelle. Tulokset on koottu taulukkoon 15. Näytteistä laSa01 ja laSa03 on vedenläpäisevyys määritetty myös pehmeäseinäisellä laitteistolla ja taulukkoon on otettu myös näiden kokeiden tulokset. Taulukossa on esitetty, miltä kohdalta muodonmuutos-vedenläpäisevyyskäyrää ilmoitettu k-arvo on otettu. Kokeiden tulokset on esitetty myös liitteissä 1, 3 ja 7.

Taulukko 15. Vedenläpäisevyyskertoimen määrittäminen kolmelle erilaiselle savelle CRS-ödometrikokeella.

Tunnus	Näyte	Ödometrikoe				Pehmeäseinäinen laitteisto	
		γ [kN/m ³]	w [%]	k [m/s]	Arvon määrittäyskohta	k [m/s]	Tiivysaste ja gradientti
laSa01	Tiivistekerroksesta otettu "häiriintymätön näyte"	19,2	23,8	2,0E-08	Kokeen alussa	7,0E-09	D=88,2 %, i=18,1
	Tiivistekerroksesta otettu "häiriintymätön näyte"	19,7	25,2	2,0E-08	Kokeen alussa	3,0E-09	D=90,4 %, i=19,1
laSa03	häiritty	18,1	40,8	3,0E-10	$\varepsilon = 21,3 \%$, vastaa D = 90 %	2,5E-09	D=90,0 %, i=29,2
	häiritty	17,9	40,8	4,0E-10	$\varepsilon = 22,3 \%$, vastaa D = 90 %	-	
liSa01	häiriintymätön	16,4	61,3	4,0E-09	Kokeen alussa	-	
	häiriintymätön	16,4	61,3	1,0E-09	Kokeen alussa	-	
	häiritty	16,4	61,3	3,0E-10	Kokeen alussa	-	

Häirityllä näytteellä tehdyistä kokeista saadut tulokset ovat pienempiä kuin häiriintymättömällä näytteellä tai pehmeäseinäisellä laitteistolla tehtyjen kokeiden tulokset. Häiritty näyte on muotoiltu ödometritrenkaaseen niin kosteana, että näytteeseen ei ole jäänyt ilmaa ja näytteen rakenne on muutenkin ollut homogeeninen. Häiriintymättömässä näytteessä sen sijaan voi olla epähomogeenisuutta.

CRS-kokeessa näytteen koko on pienempi kuin vedenläpäisevyyskokeessa. CRS-kokeessa vedenläpäisevyys lasketaan konsolidaationopeuden perusteella eikä näytteen läpi virtaavan vesimäärän perusteella. Konsolidaationopeus pienenee kokeen loppua kohti, joten yksikäsitteisen vedenläpäisevyyden arvon ilmoittaminen on vaikeaa. Jos näyte on luonnontilainen, voidaan arvoksi ilmoittaa heti kokeen alussa saatu vedenläpäisevyyden arvo. Jos taas kyseessä on häiritty näyte, voidaan laskea haluttua tilavuuspainoa tai vesipitoisuutta vastaava muodonmuutos ja ilmoittaa vedenläpäisevyudeksi tätä muodonmuutosta vastaava arvo. Tällöin häiritty näyte on kostutettava haluttua tilavuuspainoa tai vesipitoisuutta kosteammaksi ja kuormitettava, kunnes ylimääräinen vesi on puristunut näytteestä. Kun näyte oletetaan täysin vedellä kyllästyneeksi, kokoonpuristuma on kokonaisuudessaan näytteestä poistunutta vettä.

7.5 Maastomittausten tulokset

Kohteessa tehtiin syksyllä 1995 ja keväällä 1996 kaksirengasinfiltrometri- ja putkialenemamittauksia. Syksyn mittaukset tehtiin välittömästi tiivistekerroksen rakentamisen jälkeen marraskuussa. Kevään mittaukset tehtiin touko- kesäkuun vaihteessa, kun maa oli sulanut. Putkialenemamittausten tuloksista on esitetty yhteenveto taulukossa 16. Taulukossa 17 on vastaava yhteenveto kaksirengasinfiltrometrimittausten tuloksista. Mittausten tulokset kokonaisuudessaan ovat myös liitteissä 1 ja 2.

Taulukko 16. Putkialenemamittausten tulokset.

laSa01

Syksy 1995			
Paalu	w [%]	D [%]	k [m/s]
104995	24	77	2,7E-09
104995 oik 1,5	25	78	1,7E-08
104995 vas 1,5	21	82	1,0E-08
105023	24	65	1,5E-08
105023 oik 1,5	25	79	4,3E-09
Keskiarvo			9,8E-09

siHk03

Syksy 1995			
Paalu	w [%]	D [%]	k [m/s]
105925 oik 1	17	85	1,3E-07
105925 vas 1	16	82	2,2E-07
105959	15	87	2,1E-07
105957	15	83	4,9E-07
105955	15	85	4,7E-07
Keskiarvo			3,0E-07

Kevät 1996			
Paalu	w [%]	D [%]	k [m/s]
104980 oik 2,5	-	-	2,9E-08
104982 oik 2,5	-	-	1,2E-08
104982 oik 0,2	-	-	1,1E-08
104983 oik 0,2	-	-	3,0E-08
Keskiarvo			2,1E-08

Kevät 1996			
Paalu	w [%]	D [%]	k [m/s]
105942	-	-	5,0E-07
105943	-	-	4,2E-07
105944	-	-	8,4E-07
105945	-	-	3,5E-07
Keskiarvo			5,3E-07

Taulukko 17. Kaksirengasinfiltratrimittausten tulokset.

laSa01

Syksy 1995				
Paalu	w [%]	D [%]	Infiltraatio [m/s]	k [m/s]
104995	24	77	5,6E-08	4,6E-08
104995 oik 1,5	25	78	8,0E-08	6,6E-08
104995 vas 1,5	21	82	2,5E-08	2,1E-08
105023	24	65	9,2E-08	7,6E-08
105023 oik 1,5	25	79	2,5E-07	2,1E-07
Keskiarvo			1,0E-07	8,4E-08

siHk03

Syksy 1995				
Paalu	w [%]	D [%]	Infiltraatio [m/s]	k [m/s]
105925	17	85	5,7E-07	5,0E-07
105930 vas 1	16	82	1,1E-06	9,9E-07
105958	15	87	3,9E-06	3,5E-06
105956	15	83	1,5E-06	1,3E-06
105954	15	85	2,3E-06	2,0E-06
Keskiarvo			1,9E-06	1,7E-06

Kevät 1996				
Paalu	w [%]	D [%]	Infiltraatio [m/s]	k [m/s]
104986 oik 3	-	-	1,3E-07	1,1E-07
104988 oik 3	-	-	1,3E-07	1,1E-07
104986	-	-	9,9E-08	8,2E-08
Keskiarvo			1,2E-07	1,0E-07

Kevät 1996				
Paalu	w [%]	D [%]	Infiltraatio [m/s]	k [m/s]
105969	-	-	8,0E-06	7,2E-06
105966,5	-	-	7,6E-06	6,8E-06
105971	-	-	1,2E-05	1,1E-05
Keskiarvo			9,2E-06	8,3E-06

Syksyn mittauksissa tiivistekerroksen tiheyttä mitattiin Troxler-laitteella, jossa mittaus perustuu säteilyn sirontaan. Kevään mittauksissa tiiviyyttä ei mitattu. Jos tiiviyyttä olisi pystytty mittaamaan, olisi ollut mahdollista vertailla myös tiiviyksasteen muuttumista talven aikana.

Talven aikana vedenläpäisevyyden arvot molemmista materiaaleista tehdyillä koealueilla ovat kasvaneet, kun vertaillaan keskiarvoja. Kevään mittauksissa molemmilla alueilla on kuitenkin yksittäisiä pienempiäkin arvoja. Koska arvoin ei ole tehty lämpötilakorjausta, voi myös syksyn viileämpi sää hieman pienentää tuloksia. Lämpötilakorjausta ei ole tehty, koska lämpötila vaihteli varsinkin useita vuorokausia kestäneiden kokeiden aikana. Korjauksen aiheuttama muutos tuloksiin on pieni.

Tuloksista havaitaan, että putkialenemamittauksen perusteella lasketut vedenläpäisevyydet ovat pienempiä kuin kaksirengasinfiltratrimetillä saadut tulokset. Kokeiden tekotavat poikkeavat toistaan. Kaksirengasinfiltratrimetillä mitataan maahan imeytyneen veden määrää maan pinnalta. Putkialenemamittauksessa putki lyödään maahan, jolloin mittaus tapahtuu syvemmältä tiivistekerroksesta ja pienemmältä alalta. Lisäksi kerros saattaa tiivistyä, kun putki lyödään maahan.

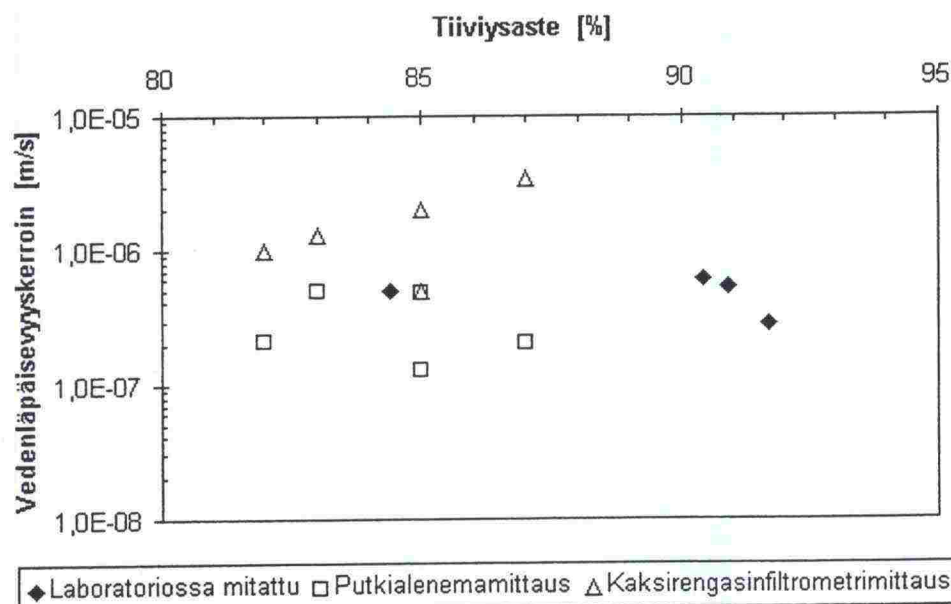
Kevään mittauksissa saadut vedenläpäisevyyden arvot ovat lähes kymmenkertaisia syksyn mittauksiin verrattuina. Mittauksia ei ole tehty kuitenkaan aivan samoista kohdista kuin syksyllä, mikä voi selittää osan eroista. Tiivistekerrosten vedenläpäisevyyden kasvuun on voinut vaikuttaa myös se, että suojaverhousta ei pystytty levittämään syksyllä ja kerrokset olivat paljaana talven yli. Kuivumisesta johtuvaa halkeilua ei kuitenkaan ollut havaittavissa vielä kevään mittauksen aikaan.

7.6 Maastomittausten ja laboratoriomittausten välinen ero

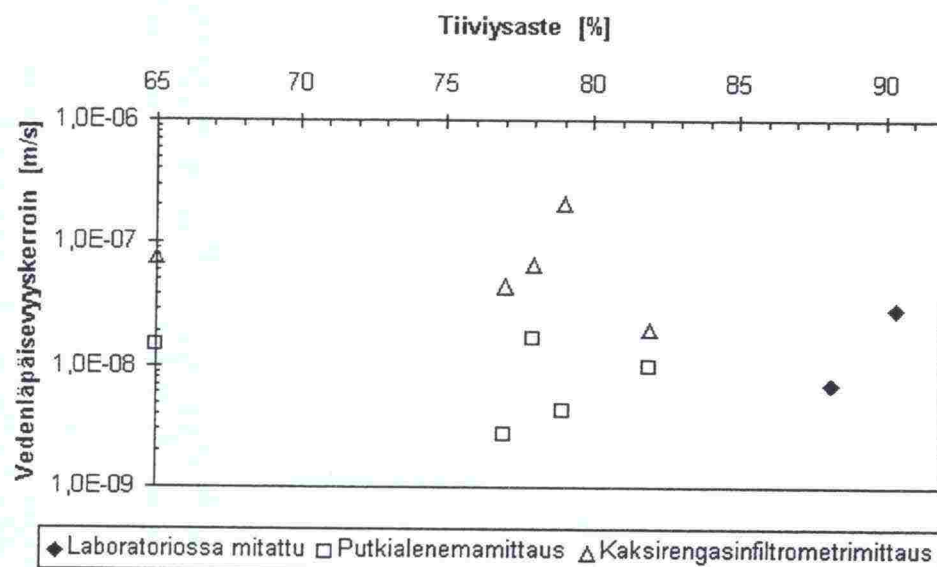
Todellisen rakenteen vedenläpäisevyys poikkeaa usein huomattavasti laboratoriossa mitatusta vedenläpäisevyydestä. Laboratoriossa tehty näyte on aina homogeeninen ja vedellä kyllästetty ennen kokeen alkamista. Näyte on pieni verrattuna todelliseen rakenteeseen ja kokeet ovat helposti toistettavia. Kokeen tekemiseen käytetään suuria gradientteja, jolloin koe nopeutuu.

Tiivisterakenteen vedenläpäisevyyden mittaaminen niin, että tuloksia voidaan vertailla laboratoriotulosten kanssa, on vaikeaa. Usein maastomittauksissa mitataan veden imeytymisnopeutta maahan eli infiltraatiota eikä varsinaista vedenläpäisevyyttä. Jotta vedenläpäisevyyden arvo voitaisiin laskea helposti, tulisi Darcyn lain edellytykset olla voimassa. Maastomittauksissa tiivistekerroksen paksuus ei ole aina tarkasti tiedossa ja rakenteessa saattaa olla merkittäviä makrohuokosia. Tiivistekerroksen tiivydelle asetetaan rakentamista koskeva tiiviysastevaatimus, mutta tarkasti joka kohdasta yhtä tiivistä kerrosta on mahdoton tehdä.

Materiaaleille lasa01 ja siHk03 tehtyjen maasto- ja laboratorioskokeiden tulokset eri tiiviysasteissa on esitetty kuvissa 40 ja 41. Maastomittausten tulokset ovat tiivistekerroksen rakentamisen jälkeen tehdyistä kokeista.



Kuva 40. Materiaalille siHk03 laboratoriossa ja tiivistekerroksen rakentamisen jälkeen maastossa tehtyt vedenläpäisevyyskokeet.



Kuva 41. Materiaalille laSa01 laboratoriossa ja tiivistekerroksen rakentamisen jälkeen maastossa tehtyt vedenläpäisevyyskokeet.

Putkialenemamittauksella on saatu keskimäärin pienempiä vedenläpäisevyyskerroin arvoja laboratoriossa mitattuihin tuloksiin verrattuna. Kaksirengasinfiltrometrillä on taas saatu laboratoriossa mitattuja arvoja suurempia vedenläpäisevyyskerroin arvoja. Laboratoriokokeissa näytteet on tiivistetty tiiviimpään tilaan kuin maastossa. Esimerkiksi saven optimivesipitoisuus on 11 %, mutta tiivistekerros on rakennettu luonnontilaisessa kosteudessa ($w =$ noin 25 %) olevasta savesta.

Eroja on siis sekä eri maastomittausmenetelmien välillä että myös maasto- ja laboratoriomittauksen välillä. Kuvasta 40 voidaan havaita, että kaksirengasinfiltrometrillä saadut vedenläpäisevyyden arvot kasvavat tiiviyssasteen kasvaessa. Tämä ilmiö on ilmeisesti kuitenkin pienestä koemäärästä johtuvaa vaihtelua. Tiiviyssasteet vaihtelevat vain muutaman prosentin, joten virhe voi olla myös niiden määrittämisessä. Laboratoriossa määritetyt tiiviyssasteet ovat luotettavampia.

8 YHTEENVETO

Vedenläpäisevyyden mittaamiseksi laboratoriossa ja maastossa on useita menetelmiä, joista Suomessa on tällä hetkellä käytössä vain joitakin. Tiivisterakentamisen rakentamista ajatellen tulisi kehittää maastomittausmenetelmä, joka soveltuisi laadunvalvontaan työmaalla. Maastomittausmenetelmien ongelmana on yleensä mittauksen vaatima pitkä aika ja joissakin tapauksissa myös laitteiston monimutkaisuus, jolloin menetelmää ei voida pitää laadunvalvontaan sopivana.

Laboratorio- ja maastomittausten tulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia. Jotta tuloksia voitaisiin vertailla, tulisi olosuhteiden laboratoriossa ja maastossa vastata toisiaan. Koska tämä ei yleensä ole mahdollista, pitäisi myös vedenläpäisevyyden raja-arvo määrittää erikseen laboratorio- ja maastomittauksille. Tällä hetkellä Tielaitoksen ohjeessa näin onkin tehty. Ohjeessa laboratoriossa vaadittava vedenläpäisevyyden arvo on sata kertaa pienempi kuin maastossa vaadittava arvo. Todellisessa rakenteessa on usein epähomogeenisuutta, jolloin keskimääräinen vedenläpäisevyys voi olla huomattavasti suurempi kuin laboratoriossa tehdyn homogeenisen näytteen. Toisaalta todellisen rakenteen vedenläpäisevyyden arvoksi voidaan saada laboratoriomittausta vastaava arvo, jos mittausalan kohdalla tiivistekerros on homogeeninen.

Ilmoitettaessa laboratoriossa tehtyjä vedenläpäisevyyskokeiden tuloksia tulisi aina raportoida käytetty menetelmä ja kokeen kulku aina näytteen valmistustavasta ja kyllästämisestä lähtien. Vedenläpäisevyyskokeiden tekotapa tulisi yhtenäistää entistä paremmin. Tutkittaessa materiaalin soveltuvuutta maatiivisteeksi, vedenläpäisevyyskertoimen määrittäminen tulisi tehdä pohjavesisuojausohjeen kriteerien mukaisesti: 90 % tai 85 % tiiviudessa ja optimivesipitoisuudessa. Tämän lisäksi pitäisi määrittää vedenläpäisevyys siinä vesipitoisuudessa, missä materiaali on rakenteessa tiivistyksen aikana eli yleensä luonnontilaisessa vesipitoisuudessa. Tiivisyaste tulisi valita vesipitoisuus huomioiden sellaiseksi, että voidaan pitää todennäköisenä että sama tiiviyys voidaan saavuttaa myös työmaalla. Jos materiaalille on jo tehty koetiivistys työmaalla käytettävällä kalustolla, voidaan käyttää siinä havaittua tiiviydestä ja vesipitoisuutta. Tällöin ovat myös laboratoriokoetulokset ja koetiivistysalueella tehdyt maastomittaukset luotettavammin vertailtavissa. Laboratorionäyte tulee tehdä samassa vesipitoisuudessa kuin todellinen rakenne on rakennettaessa.

Maastomittauksissa tiivistekerros ei yleensä ole täysin vedellä kyllästynyt. Toisaalta, jos mittaukset tehdään heti tiivistämisen jälkeen, voi hienorakeisesta maasta tehdyssä tiivistekerroksessa olla huokosveden ylipainetta. Tiivistekerrosten työnaikainen laadunvalvonta on ongelmallista. Käytettävien menetelmien tulisi olla sellaisia, että niiden tulosten perusteella rakentamista voitaisiin ohjata, eikä laatua vain todeta jälkepäin. Vedenläpäisevyyden maastomittauksissa kokeen vaatima aika on aina sitä pitempi, mitä tiiviimpi kerros on. Tämän takia useat menetelmät eivät sovellu työnaikaiseen laadunvalvontaan. Yleinen

käytäntö tiivistekerrosten laadunvalvonnassa on mitata vain tiivistekerroksen tiiviyyttä säteilymittauslaitteella, jolla mittaus on kohtalaisen nopeaa. Tämäkin antaa tuloksen vain pieneltä alalta, tosin mittauksen nopeuden ansiosta niitä voidaan tehdä melko tiheästi. Tiivistekerrokset tulisi peittää suojaverhouksella mahdollisimman pian, ettei tiiviste pääse kuivumaan eikä sade aiheuta eroosiota tiivistekerroksen pinnassa.

Tässä tutkimuksessa on kahdella tiivistemateriaalilla tehty laboratoriotestejä ja maastomittauksia tulosten vertailua varten. Maastomittaukset on tehty heti kerrosten tiivistämisen jälkeen ja ensimmäisen talven jälkeen. Mittaukset on tehty pohjavesisuojausrakenteita varten rakennetulla koealueella.

Vedenläpäisevyyksiä on määritetty maastossa putkialenemamittauksella ja kaksirengasinfiltrometrimittauksella. Työmaan laadunvalvontaan näistä soveltuu paremmin putkialenemamittaus nopeutensa takia. Putkialenemamittauksessa voidaan käyttää myös suurempaa painekorkeutta kuin kaksirengasinfiltrometrimittauksessa. Samalla alueella tehtyjen mittausten tuloksien perusteella putkialenemamittaus antaa pienempiä vedenläpäisevyyden arvoja kuin kaksirengasinfiltrometrimittaus. Tämä johtuu ilmeisesti maan tiivistymisestä putken alapään tasolla putkea upotettaessa. Tulisikin kehittää tekniikka, jolla putki voitaisiin upottaa maan tiivistymättä. On myös otettava huomioon, että putkialenemamittauksessa mittausala on pieni ja mittauksella saatava vedenläpäisevyysskerroksen arvo edustaa vain pistemäistä aluetta eikä koko rakenteen vedenläpäisevyyttä. Tällöin ns. makrohuokokset eivät välttämättä osu mitattavalle alueelle. Kun vedenläpäisevyys on pieni, on myös putkialenemamittauksessa käytettävä riittävän pitkää mittausaikaa, jotta vedenpinta ehtii laskea selvästi havaittavan määrän, mielellään useita senttimetrejä.

Kaksirengasinfiltrometrillä saatavat vedenläpäisevyyden arvot ovat yleensä aina suurempia kuin putkialenemamittauksella saadut arvot ja vaikuttavat siten luotettavammilta. Kaksirengasinfiltrometrillä saatujen arvojen paremmuuteen vaikuttaa myös suurempi mittausala, renkaiden maata tiivistämätön upotustapa ja pitempi mittausaika. Pitkän mittausajan takia menetelmä ei sovellu varsinaiseen työmaan laadunvalvontaan. Kaksirengasinfiltrometrimittauksista voidaan käyttää lähinnä tutkimustarkoituksissa ja laadun toteutukseen valmiissa tiivistekerroksessa, jos on mahdollista järjestää suojaverhouksen levittäminen mittauksen jälkeen.

Tässä tutkimuksessa tehtyjen mittausten perusteella maastossa ja laboratoriossa mitatun vedenläpäisevyyden välinen suhde on silttisellä hiekalla välillä 0,1 - 37 (keskiarvo 4,4) ja laihalla savella 0,1 - 32 (keskiarvo 4,8). Maastomittausmenetelmänä on käytetty putkialenemamittauksista ja avointa kaksirengasinfiltrometriä. Laboratoriossa vedenläpäisevyyttä on mitattu pehmeäseinäisellä vedenläpäisevyyslaitteistolla. Maastomittauksissa on mukana myös ensimmäisen talven jälkeen tehdyt mittaukset. Heti tiivistekerrosten rakentamisen jälkeen tehtyjen maastomittausten ja laboratoriomittausten välinen suhde on silttisellä hiekalla vaihdellen 0,1 - 3 (keskiarvo 0,7) ja laihalla savella 0,1 - 4,5 (keskiarvo

1,4). Tämän perusteella voidaan olettaa, että talvi on kasvattanut tiivistekerrosten vedenläpäisevyyttä.

Koska makrohuokosten vaikutusta vedenläpäisevyyteen ei voida mittauksissa kokonaan huomioida, niiden vaikutus on pyrittävä minimoimaan. Makrohuokosia ei siis saisi muodostua rakenteeseen. Tiivistekerroksen materiaalin valintaan tulisi kiinnittää entistä enemmän huomiota samoin kuin tiivistekerroksen huolelliseen rakentamiseen. Myös routimisen vaikutus tiivistekerroksen toimintaan tulisi selvittää nykyistä tarkemmin.

Vedenläpäisevyyden kannalta paras eli tiivein materiaali on savi tai rakeisuudeltaan suhteistunut materiaali. Kun myös karkeampaa ainesta on mukana, tiivistykseen tarvittava työmäärä on pienempi. Toisaalta tarvitaan riittävästi hienoainesta, jotta vedenläpäisevyys olisi riittävän pieni. Savien käyttö teiden pohjavesisuojausissa on usein kuitenkin ongelmallista, koska kuivuessaan savi halkeilee voimakkaasti. Luonnontilainen savi on usein optimivesipitoisuutta korkeammassa vesipitoisuudessa, jolloin tiivistäminen esimerkiksi 85 % tiiviyteen ei ole mahdollista. Kuivakuorisavi soveltuu suojauksiin, jos huolehditaan, ettei tiivistekerros pääse kuivumaan ja halkeilemaan. Moreeneilla voidaan riittävän pieni vedenläpäisevyys saavuttaa, vaikka hienoainespitoisuus ei täyttäisikään ohjeissa esitettyjä vaatimuksia. Hienoainespitoisten moreenien saatavuus on kuitenkin heikko [Saarelainen, Nenonen 1995]. Siltit täyttävät rakeisuusvaatimuksen, mutta ne voivat olla hyvin eroosioherkkiä. Tiivistemateriaalin valinnassa on otettava huomioon myös luiskakaltevuudet: jyrkissä luiskissa eroosion vaara on suuri. Yleensä suojattavat luiskat suunnitellaan loivemmiksi kuin 1:3, mutta vanhojen teiden suojauksissa joudutaan tilanpuutteen vuoksi käyttämään joskus jyrkempiäkin luiskia.

Hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi tiivistekerrokset tulisi rakentaa huolellisesti. Seuraavassa luettelossa on esitetty toimivan pohjavesisuojausrakenteen toteuttamisen tärkeimmät näkökohdat:

1. Suunnitelma. Suunnitelmassa on otettava huomioon tiivistekerrokseen käytettävästä materiaalista johtuvat vaatimukset: riittävä tiivistekerroksen paksuus, riittävän loivat luiskat ja muut detaljit, erityisesti tiivistekerroksen läpivientien suunnittelu.

2. Materiaali. Tiivistemateriaalin valintaan on kiinnitettävä huomiota. Laboratoriossa ennakkokokeita on tehtävä riittävästi edustavista näytteistä. Materiaalista tutkitaan vähintään rakeisuus, vesipitoisuus, humuspitoisuus, vedenläpäisevyys sekä tehdään parannettu proctorkoe. Jos materiaali on savea, voidaan tehdä myös konsistenssirajojen määrittäminen. Joissain tapauksissa voidaan materiaalin ottopaikalla tehdä luonnontilaiselle kerrokselle vedenläpäisevyydsmittauksia.

3. Ottopaikan laadunvalvonta. Rakentamisen aikana materiaalin ottopaikan tasalaatuisuutta seurataan ensisijaisesti tekemällä riittävän usein rakeisuus- ja vesipitoisuusmäärittäksiä. Jos materiaalin laatu vaihtelee, on tehtävä uudestaan

amat kokeet kuin ottopaikkaa valittaessa. Paras lopputulos saadaan, kun maatiivistemateriaali homogenisoidaan aumasekoittimella tai seulamurskaimella. Varsinkin savipitoiset maalajit ovat usein kokkareisia. Homogenisoinnin yhteydessä materiaalia tarvittaessa kostutetaan tai sen annetaan kuivua.

4. Koetiivistys. Koetiivistys tehdään työn alussa ja sillä varmistetaan, että vaadittu tiiviysaste saavutetaan tiivistykseen käytettävällä kalustolla. Koetiivistyksessä tiiviyyttä mitataan jokaisen ylityskerran jälkeen ja näin voidaan määrittää vaadittavaan tiiviyteen käytettävät ylityskerrat. Materiaalin pintaa tarkastelemalla voidaan todeta, miltä riittävän tiivis kerros yleensä näyttää ja alkaako pinta mahdollisesti halkeilla, kun tiivistämistä jatketaan, vaikka materiaali ei enää tiivisty. Koetiivistysalueella tehdään myös tiiviyden mittauksessa käytettävän säteilymittauslaitteen lukemien tarkistus vesivolymetrimittauksella. Myös säteilymittauslaitteen vesipitoisuuden mittaustarkkuus voidaan määrittää. Samoin voidaan tehdä putkialenemamittausten tulosten tarkistus kaksirengasin-filtrometrillä ja määrittää mittaukseen tarvittava aika.

5. Rakentaminen. Tiivistekerros levitetään ja tiivistetään riittävän ohuissa kerroksissa. Tiivistämiseen käytetään yleensä tärylevyä. Myös pohjan tulee olla tiivistetty ja tasainen, jotta tiivistekerroksen tiivistäminen onnistuisi. Rakentamisen aikana on otettava huomioon sääolosuhteet. Sade tai helteinen sää muuttavat tiivistemateriaalin vesipitoisuutta. Suojaverhous on levitettävä mahdollisimman pian tiivistekerroksen rakentamisen jälkeen.

6. Laadunvalvonta rakentamisen aikana. Tiivistekerroksen tiiviyyttä ja vesipitoisuutta mitataan säteilymittauksella. Laitteen mittaustarkkuus tulisi kalibroida vesivolymetrimittauksella. Tiivistekerroksen vedenläpäisevyyttä voidaan mitata, jos on mahdollista tehdä riittävän pitkiä mittauksia.

7. Valmiin rakenteen tarkkailu. Pohjavesisuojausrakenteen kuntoa on seurattava jatkuvasti. Suurimmat riskit rakenteen rikkoutumiselle on keväällä roudan sulamisen ja sulamisvesien aiheuttaman eroosion takia ja syksyllä sateiden aikaan. Tarvittaessa vaurioituneet kohdat on korjattava.

Edellä luetellut kohdat eivät juuri poikkea Tielaitoksen tämänhetkistä pohjavesisuojausten suunnittelua ja rakentamista koskevista ohjeista. Ohjeissa ei kuitenkaan ole riittävän yksinkertaisesti selvitetty esimerkiksi maatiivistemateriaalilta vaadittavia kriteereitä. Tällä hetkellä tulisi erityisesti kiinnittää huomiota työmaatekniikkaan ja työmaalla tapahtuvan laadunvalvonnan luotettavuuden parantamiseen. Näitä asioita olisi syytä korostaa myös Tielaitoksen ohjeissa. Myös ohjeiden toiminnalliset vaatimukset tulisi tarkistaa, jotta ne täyttävillä tiivisteillä voitaisiin paremmin suojata pohjavesiä tiesuolan vaikutukselta.

9 KIRJALLISUUS

Aalto, J. 1985. Veden virtaus maassa. In Geomekaniikka 1, RIL 157-1, Helsinki, Suomen rakennusinsinöörien liitto.

Benson, C. H., Hardianto, F. S., Motan, E. S. 1994. Reperesentative specimen size for hydraulic conductivity assessment of compacted soil liners. In: Daniel, D. E. & Trautwein, S. J. (toim.). Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil. Philadelphia, ASTM STP 1142, American Society for Testing and Materials. S. 3-29.

Benson, C. H., Zhai, H., Wang, X. 1994B. Estimating hydraulic conductivity of compacted clay liners. Journal of Geotechnical Engineering, no 2, vol 120.

Carter, M., Bentley, S. P. 1991. Correlations of soil properties. London, Pentech Press, 130 s.

Cedergren, H. R., 1967. Seepage, drainage and flow nets. New York, John Wiley & Sons, Inc., 489 s.

Daniel, D. E. 1994. State-of-the-art: Laboratory hydraulic conductivity tests for saturated soils. In: Daniel, D. E. & Trautwein, S. J. (toim.). Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil. Philadelphia, ASTM STP 1142, American Society for Testing and Materials. S. 30-71.

Daniel, D. E., Anderson, D. C., Boynton, S. S. 1985. Fixed-wall versus flexible-wall permeameters. In: Johnson, A. I., Frobels, R. K., Cavalli, N. J. & Pettersson, C. B. (toim.). Hydraulic Barriers in Soil and Rock. Philadelphia, ASTM STP 874, American Society for Testing and Materials. S. 107-126.

Janbu, N. 1970. Grunnlag i geoteknikk. Trondheim, Tapir Forlag, 426 s.

Havlena, J. A., Stephens, D. B. 1992. Vadose Sone Characterization Using Field Permeameters and Instrumentation. In: Nielsen, D. M., Sara, M. N. (toim.). Current Practices in Ground Water and Vadose Zone Investigations. Philadelphia, ASTM STP 1118, American Society for Testing and Materials. S. 93-110.

Head, K. H. 1982. Manual of soil laboratory testing. Vol 2. Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests. Plymouth, Pentech Press Ltd.

Kolisoja, P. 1986. Ödometrikokeen automatisointiohjelmisto. Diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu. 124 s.

Lojander, M. 1985. Geomekaaniset ominaisuudet. In Geomekaniikka 1, RIL 157-1, Helsinki, Suomen rakennusinsinöörien liitto.

- Maanvarainen tiepenger savikolla 1994. Tielaitos, geokeskus. Helsinki, Painatuskeskus Oy. Tielaitoksen selvityksiä 67/1994. 50 s.
- McWhorter, D., B. 1985. Seepage In the Unsaturated Zone: A Review. In Volpe, R., L., Kelly, W., E. (toim.) Seepage and Leakage from Dams and Impoundments. New York, American Society of Civil Engineers. S. 200 - 219.
- Rowe, K. R., Quigley, R. M., Booker J. R. 1995. Clayey barrier systems for waste disposal facilities. London, E & FN Spon, 390 s.
- Saarelainen, J., Nenonen, K. 1995. Hienoainesmoreenin huono vedenläpäisevyys - hyvä ominaisuus ympäristön hoidossa. Geologi no. 47 1995. S. 58 - 63.
- Sjöholm, M., Carlsten, P., Elander P. 1994. Bestämning av permeabilitet hos restprodukter och jord, insitu och på laboratorium. Linköping, Statens geotekniska institut, NORDTEST-projekt nr. 1100-93, Slutrapport, 65 s.
- Tammirinne, M. 1975. Rakennusten perustaminen maanvaraan. Painuman laskeminen. Helsinki, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 21.
- TEKES 1995. Suositus vedenläpäisevyyden mittausmenetelmiksi. Luonnos 15.5.1995. TEKES:n ympäristögeotekniikkaprojekti.
- Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työohjeet (TYLT). Penger- ja kerrosrakenteet 1994. Tielaitos, kehittämiskeskus. Helsinki, Painatuskeskus Oy.
- Tietoa tiensuunnitteluun nro 24. 1996. Tielaitos, kehittämiskeskus.
- Trautwein, S. J., Boutwell, G. P. 1994. In Situ Hydraulic conductivity Tests for Compacted Soil Liners and Caps. In: Daniel, D. E. & Trautwein, S. J. (toim.). Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil. Philadelphia. ASTM STP 1142, American Society for Testing and Materials. S. 184-223.
- TVH 1970. Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita, osa 2 Laboratoriotutkimukset. Helsinki, Valtion painatuskeskus.
- Olson, R. E., Daniel, D. E., 1981. Measurement of the Hydraulic Conductivity of Fine-Grained Soils. In: Zimmie, T. F., Riggs, C. O. (toim.). Permeability and Groundwater Contaminant Transport. Philadelphia, ASTM STP 746, American Society for Testing and Materials. S.18-64.
- Othman, M. A., Luettich, S. M., 1994. Compaction Control Criteria for Clay Hydraulic Barriers. Transportation Research Record 1462. S. 28-35.

Pohjaveden maatiivistesuojan tiivistäminen. 1992. Tielaitos, Helsingin tuotantotekninen kehitysyksikkö. Helsinki, Valtion painatuskeskus. Tielaitoksen selvityksiä 31/1992. 35 s.

Pohjaveden suojaus tien kohdalla. 1993. Tielaitos, kehittämiskeskus. Helsinki, Painatuskeskus Oy.

Rakentamisen laadunvarmistus, alusrakenne ja päällysrakenteen sitomattomat kerrokset. 1994. Tielaitos, geokeskus. Helsinki, Painatuskeskus Oy. 41 s.

Rathmayer, H., Juvankoski, M. 1991. Pohjaveden suojaus maatiivisteellä tien luiskassa. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio. Tutkimusraportti 20. 66 s.

Roppola, T. 1989. Maalajien tiivistäminen ja tiivistyminen IC-laitteella. Diplomityö, Oulun yliopisto.

Vanapalli S. K., Fredlund D. G., Pufahl D. E., Clifton A. W. 1996. Model for the prediction of shear strength with respect to soil suction. Canadian Geotechnical Journal. Vol 33. S. 379 - 392.

LIITELUETTELO

Liite 1	laSa01	16 s
Liite 2	siHk03	22 s
Liite 3	laSa02	3 s
Liite 4	hHk04	3 s
Liite 5	hHk05	3 s
Liite 6	HkMr02	6 s
Liite 7	laSa03	11 s
Liite 8	HkB01	5 s
Liite 9	liSa01	12 s

IaSa01

Rakeisuuslomake

Proctorkoelomake

Vedenläpäisevyyssnäytteen ICT tiivistystiedot (2 koetta)

Vedenläpäisevyysskoelomake (2 koetta)

Ödometrikoeilastus (2 koetta)

Vedenläpäisevyysskerroin-suhteellinen kokoonpuristuma kuvaaja
(2 koetta)

Putkialenemamittauksen tulokset

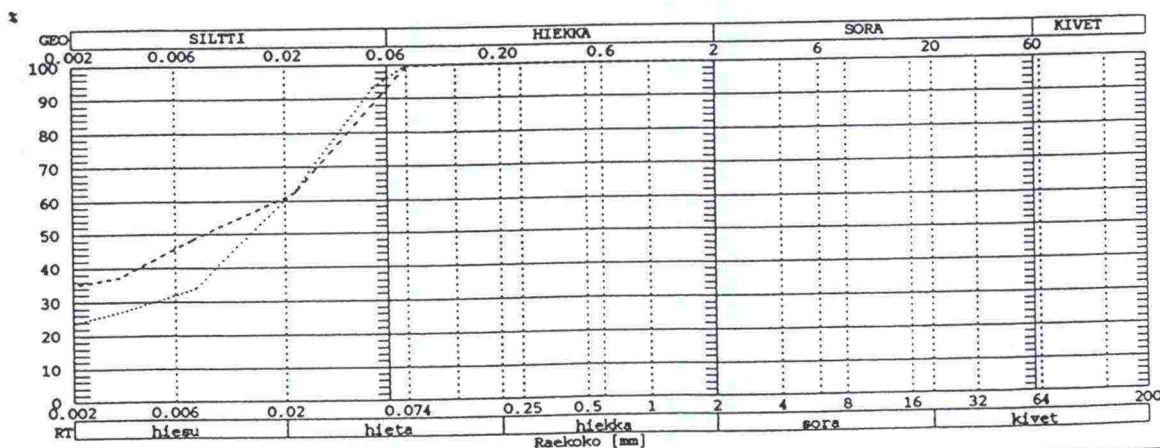
Kaksirengasinfiltrometrimittauksen tulokset

TIELAITOS
GEOKESKUS

LABORATORION TUTKIMUSSELOSTUS

Päivämäärä 171095
Työnumero 320
Tiedosto 3201995.MTD

Tiepiiri			
Tien nimi/Työmaa			
Paalu/Piste			
Häiritty(NO)/Häiriintymätön(NE)			
Näytteen tunnus	-----	-----	
Tunnus	1	2	
Paalu	laSa01		vertailunäyte
Syvyys			
Kiviä >300 mm	0.00	0.00	
200-300 mm	0.00	0.00	
64-200 mm	0.00	0.00	
Soraa 20-64 mm	0.00	0.00	
rtotiheys			
Muotoarvo			
Murtopintaluku			
Vesipitoisuus %	26,5 -	28,1 -	25,6
Humus:poltto, NaOH	0.44	1.58	
Lietepit. (0.074mm)	0.00	0.00	
Routivuus	Routiva	Routiva	
Kantavuusluokka	F(G,E)	F(G,E)	
Pengermt.käyttöl.			
Kapillaarisuus			
Maalajin nimi	laSa	saSi	



1	
2	
3	
4	

Päiväys 17.10.-95	Tutki OKSALA	
-------------------	--------------	--

Proctor-koe

Tilaaaja
Näyte
Maalaji

laSa01
laSa

Kiintotiheys
Luonnontil. vesipit.

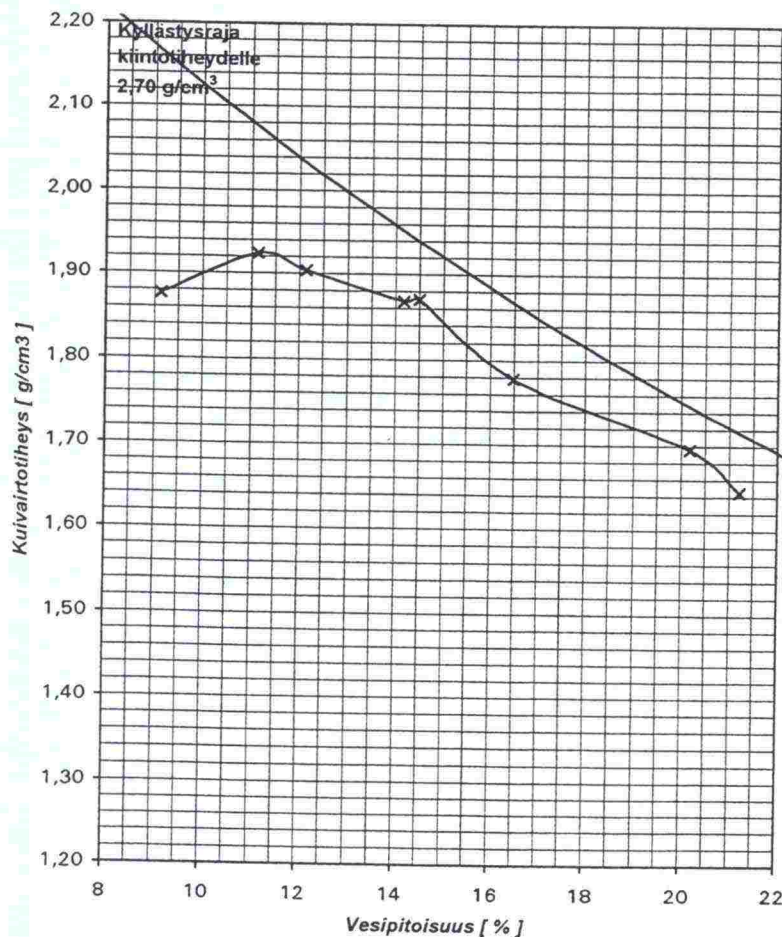
2,7 g/cm³
28 %

(arvio)

Proctor- muotin tilavuus	948 cm ³	1	2	3	4	5	6	7	8
Näytteen massa	g	1999,9	1926,8	1878,0	2056,0	2073,0	2057,2	1893,3	1959,9
Haluttu kosteus	%	8	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0
Lisättävä vesimäärä	g	160	193	225	288	332	370	379	431
Kostea näyte + muotti	g	6116,7	6201,9	6199,0	6197,6	6206,5	6138,8	6107,5	6066,6
Muotti	g	4175	4175,1	4175,1	4175,2	4175,4	4175,5	4175,2	4175,4
Näytteen massa märkänä	g	1942	2027	2024	2022	2031	1963	1932	1891
Kosta näyte + astia	g	3325,4	2178,5	2338,6	2012,9	3411,7	3336,0	3308,8	3272,6
Kuiva näyte + astia	g	3163,4	2098,9	2236,0	1936,0	3155,7	3060,0	2986,8	2943,2
Astia	g	1391	1384,8	1391,6	1393,5	1390,1	1385,2	1390,6	1391,1
Näytteen massa kuivana	g	1772	714	844	543	1766	1675	1596	1552
Veden massa	g	162	80	103	77	256	276	322	329
Vesipitoisuus määstä massasta	%	8,37	10,03	10,83	12,42	12,66	14,15	16,79	17,51
Vesipitoisuus kuivasta massasta	%	9,14	11,15	12,15	14,18	14,50	16,48	20,17	21,22
Proctor-näytteen massa kuivana	g	1779,1	1823,5	1804,6	1771,3	1773,9	1685,5	1607,9	1560,1
Märkäirtotiheys	g/cm ³	2,05	2,14	2,13	2,13	2,14	2,07	2,04	1,99
Kuivairtotiheys	g/cm ³	1,88	1,92	1,90	1,87	1,87	1,78	1,70	1,65

Parannettu proctorkoe:

Maksimikuivairtotiheys 1,92 g/cm³
Optimivesipitoisuus 11,2 %



Pvm 23.10.1995

Tutki

INTENSIVE COMPACTION TESTER

OCT 25, 1996 13:10

Vedenläpäisevyyšnäytteen tiivistys ICT:llä

Näyte **laSa01**

TEST-ID 1
SAMPLE AGE 0 MIN
SAMPLE WEIGHT 1600 G
WORKING PRESS. 4.0 BAR

Sylinterin säde	mm	50
Sylinterin korkeus	mm	202
Näytteen massa	g	1600
Näytteen W-%	%	11,0
Optimivesipit.	%	11,2
Max.kuivairtohihey	g/cm3	1,92
Max.tilavuuspaino	kN/m3	18,84

CYCL	DENS	COM	CSLU	F
05	1546			29
10	1601	55	110	33
20	1652	51	204	35
40	1694	42	XXX	35
81	1727	33	XXX	35
161	1758	31	XXX	38
323	1785	27	XXX	39

FINALLY
400 1793 8

Proctor-koe					Vedenläpäisevyysskoe						
Tiiviys- aste (%)	Näytteen kuiva		Näytteen märkä		Sylinterissä					Täysin kyllästyneenä	
	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	näytettä (mm)	tyhjää (mm)	kiviain. (g)	vettä (g)	m-tiheys (g/cm3)	lisävetä (g)	vesipit. %
100	1,920	18,84	2,135	20,94	95,6	106,4	1441,4	158,6	2,131	0,0	11,0
99	1,901	18,65	2,114	20,74	96,6	105,4	1441,4	158,6	2,110	7,6	11,5
98	1,882	18,46	2,092	20,53	97,5	104,5	1441,4	158,6	2,089	15,3	12,1
97	1,862	18,27	2,071	20,32	98,5	103,5	1441,4	158,6	2,067	23,2	12,6
96	1,843	18,08	2,050	20,11	99,6	102,4	1441,4	158,6	2,046	31,3	13,2
95	1,824	17,89	2,028	19,90	100,6	101,4	1441,4	158,6	2,025	39,5	13,7
94	1,805	17,71	2,007	19,69	101,7	100,3	1441,4	158,6	2,003	47,9	14,3
93	1,786	17,52	1,986	19,48	102,8	99,2	1441,4	158,6	1,982	56,5	14,9
92	1,766	17,33	1,964	19,27	103,9	98,1	1441,4	158,6	1,961	65,3	15,5
91	1,747	17,14	1,943	19,06	105,0	97,0	1441,4	158,6	1,939	74,3	16,2
90	1,728	16,95	1,922	18,85	106,2	95,8	1441,4	158,6	1,918	83,4	16,8
89	1,709	16,76	1,900	18,64	107,4	94,6	1441,4	158,6	1,897	92,8	17,4
88	1,690	16,57	1,879	18,43	108,6	93,4	1441,4	158,6	1,875	102,4	18,1
87	1,670	16,39	1,857	18,22	109,9	92,1	1441,4	158,6	1,854	112,2	18,8
86	1,651	16,20	1,836	18,01	111,1	90,9	1441,4	158,6	1,833	122,2	19,5
85	1,632	16,01	1,815	17,80	112,5	89,5	1441,4	158,6	1,812	132,5	20,2
84	1,613	15,82	1,793	17,59	113,8	88,2	1441,4	158,6	1,790	143,0	20,9
83	1,594	15,63	1,772	17,38	115,2	86,8	1441,4	158,6	1,769	153,8	21,7
82	1,574	15,44	1,751	17,17	116,6	85,4	1441,4	158,6	1,748	164,8	22,4
81	1,555	15,26	1,729	16,97	118,0	84,0	1441,4	158,6	1,726	176,1	23,2
80	1,536	15,07	1,708	16,76	119,5	82,5	1441,4	158,6	1,705	187,7	24,0
79	1,517	14,88	1,687	16,55	121,0	81,0	1441,4	158,6	1,684	199,6	24,8
78	1,498	14,69	1,665	16,34	122,5	79,5	1441,4	158,6	1,662	211,8	25,7
77	1,478	14,50	1,644	16,13	124,1	77,9	1441,4	158,6	1,641	224,3	26,6
76	1,459	14,31	1,623	15,92	125,8	76,2	1441,4	158,6	1,620	237,1	27,4
75	1,440	14,13	1,601	15,71	127,5	74,5	1441,4	158,6	1,598	250,3	28,4
74	1,421	13,94	1,580	15,50	129,2	72,8	1441,4	158,6	1,577	263,8	29,3
73	1,402	13,75	1,559	15,29	130,9	71,1	1441,4	158,6	1,556	277,7	30,3
72	1,382	13,56	1,537	15,08	132,8	69,2	1441,4	158,6	1,534	292,0	31,3
71	1,363	13,37	1,516	14,87	134,6	67,4	1441,4	158,6	1,513	306,6	32,3
70	1,344	13,18	1,495	14,66	136,6	65,4	1441,4	158,6	1,492	321,8	33,3

Tielaitos
Geokeskus

VEDENLÄPÄISEVYYS

työnumero _____

TILAAJA	MAALAJI
HANKE	laSa
NÄYTE	laSa01
Pvm.	20.11.96
	OPTIMI W% 11,2
	MAKSIMIKUIVAIRTOTIHEYYS g/cm ³ 1,92
	TIIVIYASTE % 88,2

LUONNONTILAISET INDEKSIOMINAISSUDET		NÄYTE KOKEEN JÄLKEEN	
VESIPITOISUUS %	27 - 28	HALKAISIJA, mm	100,0
HUMUSPITOISUUS %	0,44 - 1,58	KORKEUS, mm	108,4
HIENOAINESPITOISUUS # 0,074 %	100	VESIPITOISUUS, %	23,3
NÄYTE ENNEN KOETTA		KIINTOTIHEYYS, g/cm ³	2,72
TIIVISTYSTAPA	ICT 4 bar, 400 kierrosta	PAINO, g	1776,7
TIIVIYASTE %	84	VEDEN MÄÄRÄ, g	335,3
VESIPITOISUUS ENNEN KOETTA, %	11,0	MÄRKÄTIHEYYS, g/cm ³	2,09
PAINO ENNEN KOETTA, g	1600,0	KUIVATIHEYYS, g/cm ³	1,69
KYLLÄSTYSASTE ENNEN KOETTA, %	49,3	TIIVIYASTE %	88,2
LÄMPÖTILA °C	20	HUOKOSLUKU	0,61
MITTASELLIN SISÄHALK. mm	30	HUOKOISUUS, %	37,8
VEDEN SUUNTA NÄYTTEESÄ	YLÖS	KYLLÄSTYSASTE, %	104,3

mittaus	sellipaine kPa	etupaine kPa	takapaine kPa	aika	menevä vesi mm	tuleva vesi mm	gradientti	kt m/s	k20°C m/s
1	220	195	185	30.10.96 17:02	157,00	14,50	9,05	3,27E-09	3,28E-09
				31.10.96 9:44	137,00	34,00			
2	220	195	187	31.10.96 9:44	137,00	34,00	7,24	4,37E-09	4,39E-09
				31.10.96 13:41	132,00	39,00			
3	220	195	187	31.10.96 13:41	132,00	39,00	7,24	3,59E-09	3,61E-09
				31.10.96 17:03	129,00	43,00			
4	220	200	180	1.11.96 8:18	128,00	44,50	18,09	6,80E-09	6,83E-09
				1.11.96 9:22	123,00	50,00			
5	220	200	180	1.11.96 9:22	123,00	50,00	18,09	6,97E-09	7,01E-09
				1.11.96 11:09	114,00	59,00			
6	220	200	180	1.11.96 11:09	114,00	59,00	18,09	6,96E-09	6,99E-09
				1.11.96 13:17	103,50	70,00			
7	220	200	180	1.11.96 13:17	103,50	70,00	18,09	7,07E-09	7,10E-09
				1.11.96 14:45	96,00	77,50			
8	220	200	170	2.11.96 15:20	95,00	78,00	27,14	6,91E-09	6,94E-09
				2.11.96 16:14	90,50	87,00			
9	220	200	170	2.11.96 16:14	90,50	87,00	27,14	6,64E-09	6,67E-09
				2.11.96 17:06	84,00	93,00			
10	220	200	170	2.11.96 17:06	84,00	93,00	27,14	6,39E-09	6,42E-09
				2.11.96 18:13	76,50	101,00			

Kokeen teki: _____ EmP

Keskiarvot

Gradientti Vedenläpäisevyys [m/s]	
18,1	7,0E-09
27,1	6,7E-09

Vedenläpäisevyydenäytteen tiivistys ICT:llä

Näyte **laSa01**

Sylinterin säde	mm	50
Sylinterin korkeus	mm	202
Näytteen massa	g	1600
Näytteen W-%	%	15,0
Optimiviesipit.	%	11,2
Max.kuivairtoitihey	g/cm3	1,92
Max.tilavuuspaino	kN/m3	18,84

INTENSIVE COMPACTION TESTER

OCT 25, 1996 13:19

TEST-ID 2
SAMPLE AGE 1 MIN
SAMPLE WEIGHT 1600 G
WORKING PRESS. 4.0 BAR

CYCL	DENS	COM	CSLU	F
05	1698			27
10	1786	88	68	29
20	1873	87		30

FINALLY
22 1887 14

Proctor-koje					Vedenläpäisevyydenkoje						
Tiiviy- aste (%)	Näytteen kuiva		Näytteen märkä		Sylinterissä					Täysin kyllästytynenä	
	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	näytettä (mm)	tyhjää (mm)	kiviain. (g)	vettä (g)	m-tiheys (g/cm3)	lisävetä (g)	vesipit. %
100	1,920	18,84	2,135	20,94	92,3	109,7	1391,3	208,7	2,208	0,0	15,0
99	1,901	18,65	2,114	20,74	93,2	108,8	1391,3	208,7	2,186	7,3	15,5
98	1,882	18,46	2,092	20,53	94,1	107,9	1391,3	208,7	2,164	14,8	16,1
97	1,862	18,27	2,071	20,32	95,1	106,9	1391,3	208,7	2,142	22,4	16,6
96	1,843	18,08	2,050	20,11	96,1	105,9	1391,3	208,7	2,120	30,2	17,2
95	1,824	17,89	2,028	19,90	97,1	104,9	1391,3	208,7	2,098	38,1	17,7
94	1,805	17,71	2,007	19,69	98,2	103,8	1391,3	208,7	2,076	46,3	18,3
93	1,786	17,52	1,986	19,48	99,2	102,8	1391,3	208,7	2,053	54,5	18,9
92	1,766	17,33	1,964	19,27	100,3	101,7	1391,3	208,7	2,031	63,0	19,5
91	1,747	17,14	1,943	19,06	101,4	100,6	1391,3	208,7	2,009	71,7	20,2
90	1,728	16,95	1,922	18,85	102,5	99,5	1391,3	208,7	1,987	80,5	20,8
89	1,709	16,76	1,900	18,64	103,7	98,3	1391,3	208,7	1,965	89,6	21,4
88	1,690	16,57	1,879	18,43	104,8	97,2	1391,3	208,7	1,943	98,8	22,1
87	1,670	16,39	1,857	18,22	106,1	95,9	1391,3	208,7	1,921	108,3	22,8
86	1,651	16,20	1,836	18,01	107,3	94,7	1391,3	208,7	1,899	118,0	23,5
85	1,632	16,01	1,815	17,80	108,5	93,5	1391,3	208,7	1,877	127,9	24,2
84	1,613	15,82	1,793	17,59	109,8	92,2	1391,3	208,7	1,855	138,0	24,9
83	1,594	15,63	1,772	17,38	111,2	90,8	1391,3	208,7	1,833	148,4	25,7
82	1,574	15,44	1,751	17,17	112,5	89,5	1391,3	208,7	1,811	159,1	26,4
81	1,555	15,26	1,729	16,97	113,9	88,1	1391,3	208,7	1,788	170,0	27,2
80	1,536	15,07	1,708	16,76	115,3	86,7	1391,3	208,7	1,766	181,2	28,0
79	1,517	14,88	1,687	16,55	116,8	85,2	1391,3	208,7	1,744	192,6	28,8
78	1,498	14,69	1,665	16,34	118,3	83,7	1391,3	208,7	1,722	204,4	29,7
77	1,478	14,50	1,644	16,13	119,8	82,2	1391,3	208,7	1,700	216,5	30,6
76	1,459	14,31	1,623	15,92	121,4	80,6	1391,3	208,7	1,678	228,8	31,4
75	1,440	14,13	1,601	15,71	123,0	79,0	1391,3	208,7	1,656	241,5	32,4
74	1,421	13,94	1,580	15,50	124,7	77,3	1391,3	208,7	1,634	254,6	33,3
73	1,402	13,75	1,559	15,29	126,4	75,6	1391,3	208,7	1,612	268,0	34,3
72	1,382	13,56	1,537	15,08	128,1	73,9	1391,3	208,7	1,590	281,8	35,3
71	1,363	13,37	1,516	14,87	129,9	72,1	1391,3	208,7	1,568	296,0	36,3
70	1,344	13,18	1,495	14,66	131,8	70,2	1391,3	208,7	1,546	310,6	37,3

Tielaitos
Geokeskus

VEDENLÄPÄISEVYYS

työnumero _____

TILAAJA	MAALAJI
HANKE	laSa
NÄYTE laSa01	OPTIMI W% 11,2
Pvm. 2.11.96	MAKSIMIKUIVAIRTOTIHEYYS g/cm ³ 1,92
	TIIVIYSASTE % 90,0

LUONNONTILAISET INDEKSIOMINAIUUDET		NÄYTE KOKEEN JÄLKEEN	
VESIPITOISUUS %	27 - 28	HALKAISIJA, mm	100,0
HUMUSPITOISUUS %	0,44 - 1,58	KORKEUS, mm	102,5
HIENOAINESPITOISUUS # 0,074 %	100	VESIPITOISUUS, %	21,9
NÄYTE ENNEN KOETTA		KIINTOTIHEYYS, g/cm ³	2,72
TIIVISTYSTAPA	ICT 4 bar, 22 kierrosta	PAINO, g	1696,0
TIIVIYSASTE %	89	VEDEN MÄÄRÄ, g	304,7
VESIPITOISUUS ENNEN KOETTA, %	15,0	MÄRKÄTIHEYYS, g/cm ³	2,11
PAINO ENNEN KOETTA, g	1600,0	KUIVATIHEYYS, g/cm ³	1,73
KYLLÄSTYSASTE ENNEN KOETTA, %	71,1	TIIVIYSASTE %	90,0
LÄMPÖTILA °C	20	HUOKOSLUKU	0,57
MITTASELLIN SISÄHALK. mm	30	HUOKOISUUS, %	36,5
VEDEN SUUNTA NÄYTTEESÄ	YLÖS	KYLLÄSTYSASTE, %	103,8

mittaus	seli-paine kPa	etu-paine kPa	taka-paine kPa	aika	menevä vesi mm	tuleva vesi mm	gradientti	kt m/s	k20°C m/s
1	220	195	185	30.10.96 17:03	148,00	18,00	9,57	1,74E-08	1,75E-08
				31.10.96 9:43	35,50	128,00			
2	220	195	187	31.10.96 9:43	35,50	128,00	7,65	1,25E-08	1,26E-08
				31.10.96 13:42	20,00	143,00			
3	220	195	187	31.10.96 13:42	20,00	143,00	7,65	9,70E-09	9,75E-09
				31.10.96 17:04	10,00	153,00			
4	220	200	180	1.11.96 8:19	152,50	9,00	19,14	3,40E-08	3,41E-08
				1.11.96 9:23	125,00	37,00			
5	220	200	180	1.11.96 9:23	125,00	37,00	19,14	3,15E-08	3,16E-08
				1.11.96 11:10	82,00	80,00			
6	220	200	180	1.11.96 11:10	82,00	80,00	19,14	2,83E-08	2,85E-08
				1.11.96 13:18	36,50	127,00			
7	220	200	180	1.11.96 13:18	36,50	127,00	19,14	2,74E-08	2,75E-08
				1.11.96 14:46	5,50	157,50			
8	220	200	170	2.11.96 15:21	158,00	6,00	28,70	2,95E-08	2,97E-08
				2.11.96 16:15	127,00	36,00			
9	220	200	170	2.11.96 16:15	127,00	36,00	28,70	2,79E-08	2,80E-08
				2.11.96 17:07	99,50	64,00			
10	220	200	170	2.11.96 17:07	99,50	64,00	28,70	2,63E-08	2,64E-08
				2.11.96 18:14	65,00	97,00			

Kokeen teki: _____ EmP

Keskiarvot

Gradientti	Vedenläpäisevyys [m/s]
19,1	3,0E-08
28,7	2,8E-08

Vedenläpäisevyyden määrittäminen CRS-ödometrikokeella **IaSa01** Häiriintymätön näyte

TIELAITOS
GEOKESKUS
OPASTINSILTA 12
PL 33, 00521 HKI
PUH (90) 148 721

Työnumero 40XX
Tilaaaja ?
Tiennumero ?
Tieosa ?
Paalu ?
Piste
Maanpinta
Syvyys ?
Koepvm 8.11.95
Koeselli 2

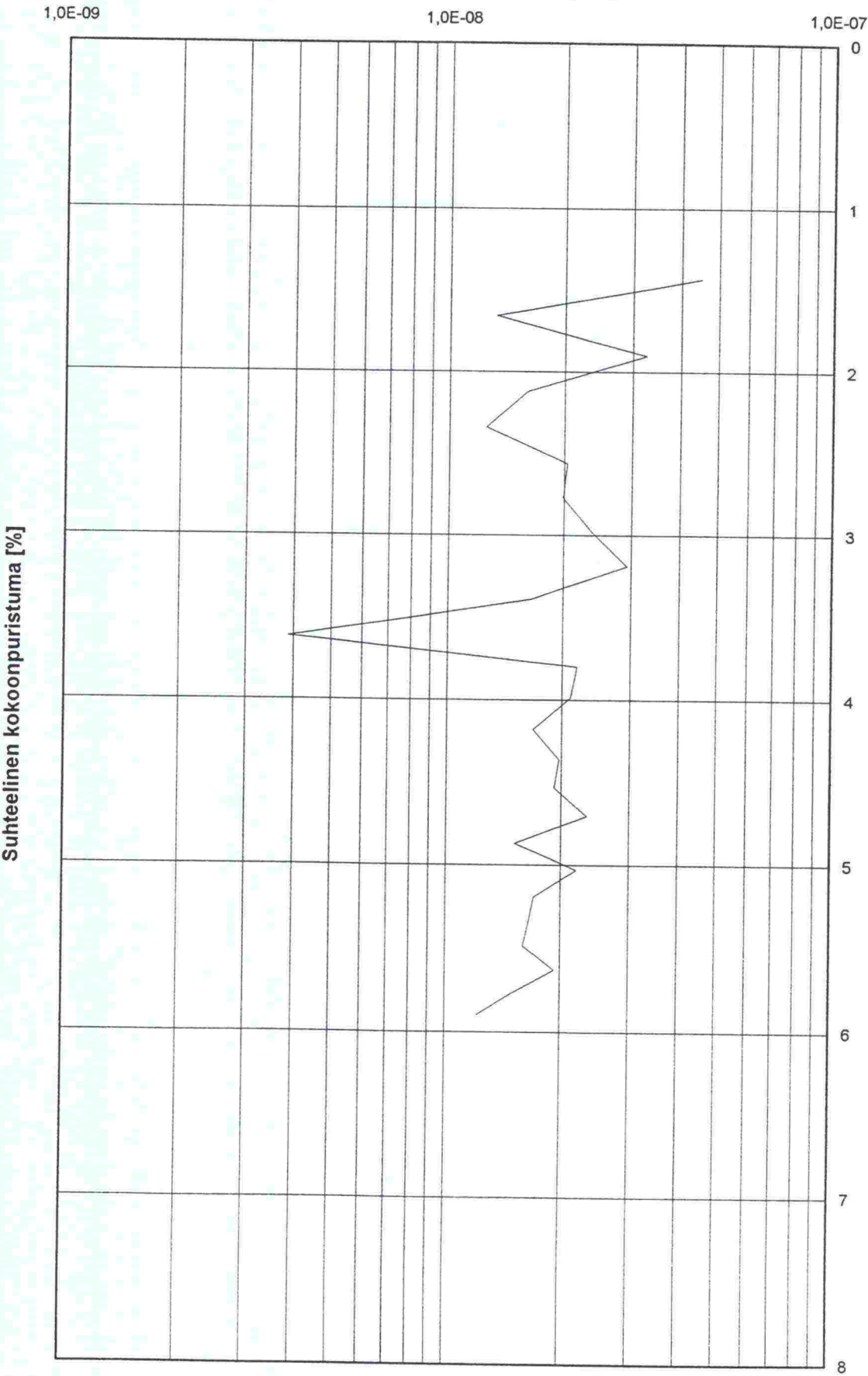
Tiedosto ALLAS_2.DA2
Koetyyppi CRS-koe
Nopeus ,005 mm/min
Kesto 3,6 h
Palautus 0,9 h
Pal.kuorma 25,0 kPa
Palautuma 2,8 mm
Näytekokko 20,0 cm2
Näytekor. 15,0 mm
Sigma0 0,0 kPa

$\beta = 0,220$
 $m = 82,3$
 $C = -0,024$
 $A = 0,055$
 $\beta_2 = -$
 $m_2 = - (135,2 \text{ p})$
 $C_2 = -$
 $A_2 = -$
Konsolid. jänn. ---
 $\gamma = 19,2 \text{ kN/m}^2$
 $w = 23,8 \%$

t [s]	σ [kPa]	Hvp [kPa]	ε [%]	σ' [kPa]	Nopeus [mm/min]	M [MPa]	k [m/s]
455	2,7	0,3	0,23	--	--	--	--
907	5	0,4	0,47	--	--	--	--
1363	7,7	0,2	0,71	--	--	--	--
1815	10,2	0	0,95	--	--	--	--
2271	13,7	0,1	1,18	13,6	0,0046	1,7201	3,35E-08
2723	18,1	0,2	1,41	17,9	0,0045	2,1229	2,19E-08
3179	23,1	0,1	1,64	23	0,0044	2,6095	4,27E-08
3635	29,5	0	1,86	29,4	0,0043	3,1503	6,25E-08
4087	37	0,1	2,08	36,9	0,0042	3,7367	4,06E-08
4543	45,5	0,2	2,29	45,3	0,0041	4,3799	1,97E-08
4995	55,1	0,2	2,49	54,9	0,0039	5,0894	1,64E-08
5451	65,8	0,2	2,69	65,6	0,0038	5,8572	2,22E-08
5903	77,8	0,3	2,89	77,5	0,0037	6,7805	1,34E-08
6359	91,4	0,2	3,07	91,2	0,0035	7,9614	1,47E-08
6815	106	0,2	3,25	105,8	0,0034	9,2681	1,40E-08
7267	122,8	0,3	3,42	122,6	0,0033	10,4231	1,18E-08
7723	142,6	0,4	3,58	142,4	0,0031	11,5279	9,06E-09
8175	162,1	0,3	3,73	161,9	0,003	12,4761	1,10E-08
8631	180,9	0,4	3,89	180,6	0,003	13,1609	7,81E-09
9083	201,7	0,4	4,04	201,4	0,0029	13,6212	8,47E-09
9539	222,8	0,4	4,19	222,5	0,0029	14,4308	7,51E-09
9995	244,5	0,4	4,34	244,3	0,0028	15,6292	7,97E-09
10447	266	0,4	4,48	265,7	0,0027	16,4304	7,08E-09
10903	290,2	0,4	4,62	289,9	0,0027	17,0804	7,64E-09
11360	316,1	0,5	4,75	315,7	0,0026	17,6851	5,77E-09
11820	339,2	0,4	4,89	338,9	0,0025	18,81	7,28E-09
12281	363	0,6	5,03	362,6	--	--	--
12744	388,4	0,4	5,16	388,2	--	--	--
13199	417,7	0,7	5,27	417,3	--	--	--
--	--	--	2,1	25	--	--	--

IaSa01 Häiriintymätön näyte

Vedenläpäisevyyskerroin k [m/s]



Vedenläpäisevyyden määrittäminen CRS-ödometrikokeella laSa01 Häiriintymätön näyte

TIELAITOS
GEOKESKUS
OPASTINSILTA 12
PL 33, 00521 HKI
PUH (90) 148 721

Työnumero 40XX
Tilaaaja ?
Tiennumero ?
Tieosa ?
Paalu ?
Piste
Maanpinta
Syvyys ?
Koepvm 8.11.95
Koeselli 1

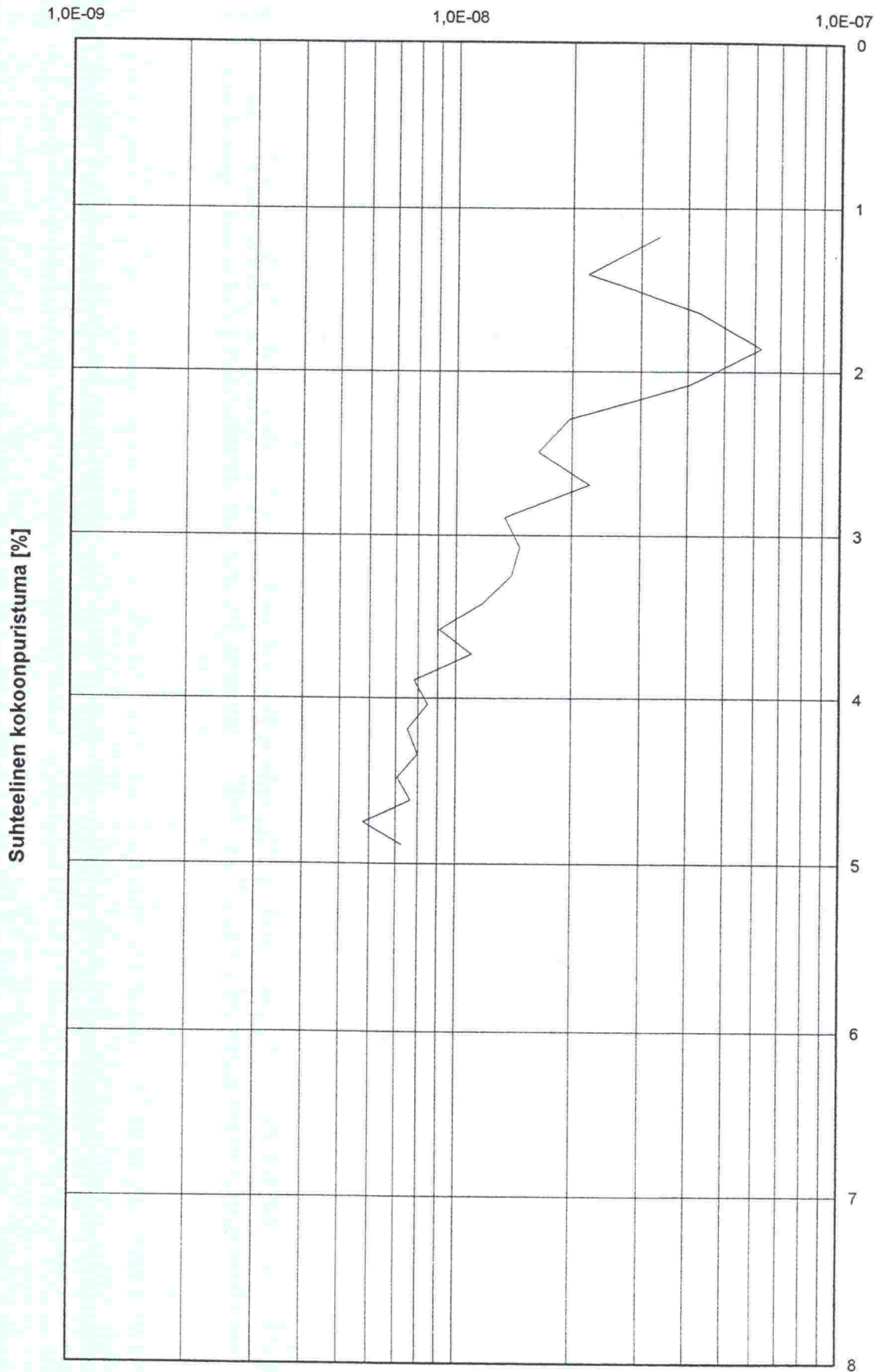
Tiedosto ALLAS_1.DA2
Koetyyppi CRS-koe
Nopeus ,005 mm/min
Kesto 4,1 h
Palautus 1,0 h
Pal.kuorma 25,0 kPa
Palautuma 3,0 mm
Näytekkoko 20,0 cm2
Näytekkork. 15,0 mm
Sigma0 0,0 kPa

$\beta = 0,187$
 $m = 65,7$
 $C = -0,043$
 $A = 0,081$
 $\beta_2 = --$
 $m_2 = -- (129,1)$
 $C_2 = --$
 $A_2 = --$
Konsolid.jänn. ---
 $\gamma = 19,7 \text{ kN/m}^2$
 $w = 25,2 \%$

t [s]	σ [kPa]	Hvp [kPa]	ε [%]	σ' [kPa]	Nopeus [mm/min]	M [MPa]	k [m/s]
454	1,9	0	0,23	--	--	--	--
910	3,9	0	0,48	--	--	--	--
1362	6,2	0,1	0,72	--	--	--	--
1818	9	0,1	0,96	--	--	--	--
2270	11,5	0	1,19	--	--	--	--
2726	15,3	0,1	1,43	15,2	0,0046	1,5193	4,48E-08
3182	18,8	0,4	1,66	18,6	0,0045	1,7852	1,32E-08
3634	22,7	0,1	1,9	22,6	0,0045	2,1226	3,26E-08
4090	28,2	0,3	2,12	27,9	0,0044	2,5178	1,60E-08
4542	34,3	0,4	2,34	34,1	0,0043	2,9832	1,25E-08
4998	41,1	0,2	2,56	40,9	0,0042	3,4769	2,04E-08
5450	49,3	0,2	2,77	49,2	0,0041	3,9892	1,99E-08
5906	57,9	0,2	2,98	57,8	0,0041	3,986	2,38E-08
6362	67,7	0,1	3,19	67,6	0,0041	4,2876	2,93E-08
6814	78,8	0,2	3,39	78,6	0,004	4,6876	1,65E-08
7270	82	1,2	3,62	81,2	0,0039	5,2246	3,88E-09
7722	96,1	0,2	3,8	95,9	0,0038	5,9533	2,19E-08
8178	109	0,2	3,99	108,9	0,0037	6,8572	2,11E-08
8630	122,5	0,2	4,18	122,3	0,0035	8,0382	1,68E-08
9086	138	0,2	4,36	137,8	0,0035	8,5943	1,98E-08
9542	153,4	0,2	4,53	153,3	0,0034	9,3518	1,92E-08
9994	169,8	0,1	4,7	169,7	0,0033	10,1866	2,33E-08
10450	187,6	0,2	4,87	187,4	0,0032	10,9891	1,51E-08
10902	205,9	0,1	5,03	205,8	0,0031	11,9261	2,20E-08
11358	225,7	0,2	5,19	225,6	0,003	12,9428	1,70E-08
11810	245,7	0,2	5,34	245,6	0,0029	13,9538	1,65E-08
12266	267,1	0,2	5,49	267	0,0028	15,0523	1,60E-08
12722	289,9	0,1	5,63	289,8	0,0027	16,1744	1,93E-08
13174	312,8	0,2	5,77	312,6	0,0026	17,373	1,49E-08
13630	337,1	0,2	5,9	336,9	0,0026	18,5099	1,21E-08
14082	361,9	0,2	6,03	361,7	--	--	--
14538	387,7	0,2	6,16	387,5	--	--	--
14990	413,8	0,2	6,28	413,6	--	--	--
--	--	--	2,98	25	--	--	--

IaSa01 Häiriintymätön näyte

Vedenläpäisevyyskerroin k [m/s]



Putkialenemamittauksen tulokset

laSa01 syksy 1995

Paalu: 104995 kl

Mitattu vesipit. 24 % R_1 0,0175 m

Mitattu tiiviys 77 % R_2 0,0063 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
9.11.95 12:55			0,0		
9.11.95 14:55	2,00	7200	5,7	1,443	3,00E-09
9.11.95 16:55	4,00	7200	5,2	1,448	2,73E-09
10.11.95 9:30	20,58	59700	0,0	1,500	
10.11.95 11:15	22,33	6300	5,4	1,446	3,24E-09
10.11.95 12:40	23,75	5100	4,0	1,460	2,95E-09
10.11.95 14:30	25,58	6600	2,4	1,476	1,36E-09
10.11.95 16:45	27,83	8100	6,3	1,437	2,95E-09

Mittauksen keskiarvo 2,7E-09

Paalu: 104995 oik 1,5

Mitattu vesipit. 25 % R_1 0,0175 m

Mitattu tiiviys 78 % R_2 0,0063 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
9.11.95 12:55			0,0		
9.11.95 14:55	2,00	7200	22,0	1,280	1,23E-08
9.11.95 16:55	4,00	7200	24,2	1,259	1,36E-08
10.11.95 9:30	20,58	59700	0,0	1,500	
10.11.95 11:15	22,33	6300	28,7	1,213	1,88E-08
10.11.95 12:40	23,75	5100	19,2	1,308	1,50E-08
10.11.95 14:30	25,58	6600	31,6	1,184	2,00E-08
10.11.95 16:45	27,83	8100	40,3	1,097	2,15E-08

Mittauksen keskiarvo 1,7E-08

Paalu: 104995 vas 1,5

Mitattu vesipit. 21 % R_1 0,0175 m

Mitattu tiiviys 82 % R_2 0,0063 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
9.11.95 12:55			0,0		
9.11.95 14:55	2,00	7200	0,0	1,500	0,00E+00
9.11.95 16:55	4,00	7200	17,2	1,328	9,43E-09
10.11.95 9:30	20,58	59700	0,0	1,500	
10.11.95 11:15	22,33	6300	15,6	1,344	9,72E-09
10.11.95 12:40	23,75	5100	10,7	1,393	8,09E-09
10.11.95 14:30	25,58	6600	19,0	1,310	1,14E-08
10.11.95 16:45	27,83	8100	27,1	1,229	1,37E-08

Mittauksen keskiarvo 1,0E-08

Putkialenemamittauksen tulokset

laSa01 syksy 1995

Paalu: 105023 kl

Mitattu vesipit. 24 % R_1 0,0175 m

Mitattu tiiviys 65 % R_2 0,0063 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
10.11.95 9:30			0,0		
10.11.95 11:15	1,75	6300	19,5	1,305	1,23E-08
10.11.95 12:40	3,17	5100	14,3	1,357	1,10E-08
10.11.95 14:30	5,00	6600	26,1	1,239	1,61E-08
10.11.95 16:45	7,25	8100	40,3	1,097	2,15E-08

Mittausten keskiarvo 1,5E-08

Paalu: 105023 oik 1,5

Mitattu vesipit. 25 % R_1 0,0175 m

Mitattu tiiviys 79 % R_2 0,0063 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
10.11.95 9:30			0,0		
10.11.95 11:15	1,75	6300	4,8	1,452	2,88E-09
10.11.95 12:40	3,17	5100	3,5	1,465	2,58E-09
10.11.95 14:30	5,00	6600	8,0	1,420	4,63E-09
10.11.95 16:45	7,25	8100	14,5	1,355	7,00E-09

Mittausten keskiarvo 4,3E-09

Putkialenemamittauksen tulokset

laSa01 kevät 1996

Paalu: 104980 oik 2,5

R_1 0,0175 m

Upotettu lyömällä

R_2 0,00625 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
5.6.96 11:58			0,0		
5.6.96 13:13	1,25	4500	26,3	1,237	2,39E-08
5.6.96 14:28	2,50	4500	29,7	1,203	2,73E-08
5.6.96 15:46	3,80	4680	34,9	1,151	3,15E-08
5.6.96 16:58	5,00	4320	35,8	1,142	3,52E-08

Mittausten keskiarvo 2,9E-08

Paalu: 104982 oik 2,5

R_1 0,0175 m

Upotettu kairattuun reikään

R_2 0,00625 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
5.6.96 11:59			0,0		
5.6.96 13:14	1,25	4500	11,7	1,383	1,01E-08
5.6.96 14:29	2,50	4500	13,0	1,370	1,12E-08
5.6.96 15:47	3,80	4680	14,1	1,359	1,18E-08
5.6.96 16:59	5,00	4320	14,4	1,356	1,30E-08

Mittausten keskiarvo 1,2E-08

Paalu: 104981,5 oik 0,2

R_1 0,0175 m

Upotettu kairattuun reikään

R_2 0,00625 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
5.6.96 12:00			0,0		
5.6.96 13:15	1,25	4500	11,1	1,389	9,52E-09
5.6.96 14:30	2,50	4500	11,6	1,384	9,97E-09
5.6.96 15:48	3,80	4680	13,0	1,370	1,08E-08
5.6.96 17:00	5,00	4320	13,2	1,368	1,19E-08

Mittausten keskiarvo 1,1E-08

Paalu: 104983 oik 0,2

R_1 0,0175 m

Upotettu lyömällä

R_2 0,00625 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
5.6.96 12:01			0,0		
5.6.96 13:16	1,25	4500	28,4	1,216	2,60E-08
5.6.96 14:31	2,50	4500	30,4	1,196	2,81E-08
5.6.96 15:49	3,80	4680	33,6	1,164	3,02E-08
5.6.96 17:01	5,00	4320	34,7	1,153	3,39E-08

Mittausten keskiarvo 3,0E-08

Kaksirengasinfiltrimetrikokeiden tulokset

laSa01

syksy 1995

Paalu: 104995 kl

Mitattu tiiviys 77 %

Mitattu vesipit. 24 %

Vedenpinta alussa 0,15 m

Tiivistekerroksen paksuus 0,7 m

Mittattu vesipit.	24 %		Sisärengas						Ulkorengas					
Vedenpinta alussa	0,15 m		Ala 0,071 m ²						Ala 0,283 m ²					
pvm & klo	t	t	H1	Ale-nema	V	Infiltraatio-nopeus	F	Veden-läpäisevyys	H2	Ale-nema	V	Infiltraatio-nopeus	F	Veden-läpäisevyys
	[h]	[s]	[m]	[m]	[ml]	[m/s]		[m/s]	[m]	[m]	[ml]	[m/s]		[m/s]
8.11.95 15:15			0,143						0,143					
9.11.95 11:45	20,50	73800	0,150	0,007	495	9,49E-08	1	7,88E-08	tyhjä	-			0,5	
10.11.95 10:55	43,67	83400	0,146	0,003	212	3,60E-08	1	2,97E-08	0,148	0,005	1414	6,00E-08	0,5	2,48E-08
11.11.95 9:40	66,42	81900	0,146	0,003	212	3,66E-08	1	3,03E-08	0,150	0,007	1979	8,55E-08	0,5	3,55E-08
Keskiarvot						5,6E-08		4,6E-08				7,3E-08		3,0E-08

Kaksirengasinfiltrimetrikokeiden tulokset

IaSa01

kevät 1996

Paalu: 104986 oik 3

Mitattu vesipit. %			Tiivistekerroksen paksuus 0,7 m											
Mitattu tiiviys %			Sisärengas						Ulkorengas					
Vedenpinta alussa 0,15 m			Ala 0,071 m ²						Ala 0,283 m ²					
pvm & klo	t [h]	t [s]	H1 [m]	Ale-nema [m]	V [ml]	Infiltraatio-nopeus [m/s]	F	Veden-läpäisevyys [m/s]	H2 [m]	Ale-nema [m]	V [ml]	Infiltraatio-nopeus [m/s]	F	Veden-läpäisevyys [m/s]
5.6.96 10:53			0,156						0,156					
5.6.96 15:55	5,03	18120	0,159	0,003	212	1,66E-07	1	1,37E-07	0,160	0,004	1131	2,21E-07	0,5	9,13E-08
5.6.96 15:58	5,08	180	0,156						0,156					
6.6.96 15:22	28,48	84240	0,164	0,008	565	9,50E-08	1	7,90E-08	0,165	0,009	2545	1,07E-07	0,5	4,45E-08
6.6.96 15:25	28,53	180	0,156						0,156					
7.6.96 15:15	52,37	85800	0,166	0,010	707	1,17E-07	1	9,71E-08	0,166	0,010	2827	1,17E-07	0,5	4,86E-08
7.6.96 15:19	52,43	240	0,154						0,154					
8.6.96 14:40	75,78	84060	0,165	0,011	778	1,31E-07	1	1,09E-07	0,165	0,011	3110	1,31E-07	0,5	5,46E-08
Keskiarvot			1,3E-07			1,1E-07			1,4E-07			6,0E-08		

Paalu: 104988 oik 3

Mitattu vesipit. %			Tiivistekerroksen paksuus 0,7 m											
Mitattu tiiviys %			Sisärengas						Ulkorengas					
Vedenpinta alussa 0,15 m			Ala 0,071 m ²						Ala 0,283 m ²					
pvm & klo	t [h]	t [s]	H1 [m]	Ale-nema [m]	V [ml]	Infiltraatio-nopeus [m/s]	F	Veden-läpäisevyys [m/s]	H2 [m]	Ale-nema [m]	V [ml]	Infiltraatio-nopeus [m/s]	F	Veden-läpäisevyys [m/s]
5.6.96 11:50			0,153						0,153					
5.6.96 16:09	4,32	15540	0,156	0,003	212	1,93E-07	1	1,60E-07	0,159	0,006	1696	3,86E-07	0,5	1,60E-07
5.6.96 16:12	4,37	180	0,154						0,154					
6.6.96 15:36	27,77	84240	0,163	0,009	636	1,07E-07	1	8,89E-08	0,171	0,017	4807	2,02E-07	0,5	8,48E-08
6.6.96 15:40	27,83	240	0,153						0,153					
7.6.96 15:33	51,72	85980	0,164	0,011	778	1,28E-07	1	1,07E-07	0,170	0,017	4807	1,98E-07	0,5	8,31E-08
7.6.96 15:38	51,80	300	0,153						0,153					
8.6.96 14:47	74,95	83340	0,162	0,009	636	1,08E-07	1	8,99E-08	0,171	0,018	5089	2,16E-07	0,5	9,09E-08
Keskiarvot			1,3E-07			1,1E-07			2,5E-07			1,0E-07		

Paalu: 104986 kl

Mitattu vesipit. %			Tiivistekerroksen paksuus 0,7 m											
Mitattu tiiviys %			Sisärengas						Ulkorengas					
Vedenpinta alussa 0,15 m			Ala 0,071 m ²						Ala 0,283 m ²					
pvm & klo	t [h]	t [s]	H1 [m]	Ale-nema [m]	V [ml]	Infiltraatio-nopeus [m/s]	F	Veden-läpäisevyys [m/s]	H2 [m]	Ale-nema [m]	V [ml]	Infiltraatio-nopeus [m/s]	F	Veden-läpäisevyys [m/s]
5.6.96 11:30			0,137						0,137					
5.6.96 16:01	4,52	16260	0,139	0,002	141	1,23E-07	1	1,02E-07	0,141	0,004	1131	2,46E-07	0,5	1,02E-07
5.6.96 16:04	4,57	180	0,134						0,134					
6.6.96 15:32	28,03	84480	0,142	0,008	565	9,47E-08	1	7,87E-08	0,143	0,009	2545	1,07E-07	0,5	4,43E-08
6.6.96 15:34	28,07	120	0,137						0,137					
7.6.96 15:25	51,92	85860	0,145	0,008	565	9,32E-08	1	7,75E-08	0,143	0,006	1696	6,99E-08	0,5	2,90E-08
7.6.96 15:28	51,97	180	0,134						0,134					
8.6.96 14:42	75,20	83640	0,141	0,007	495	8,37E-08	1	6,95E-08	0,144	0,010	2827	1,20E-07	0,5	4,98E-08
Keskiarvot			9,9E-08			8,2E-08			1,4E-07			5,6E-08		

siHk03

Rakeisuuslomake

Proctorkoelomake

Tiivistyvyys ICT:llä, työkierrokset-tiheys kuvaajat eri vesipitoisuuksilla

Vedenläpäisevyysnäytteen ICT tiivistystiedot (4 koetta)

Vedenläpäisevyyskoelomake (4 koetta)

Putkialenemamittauksen tulokset

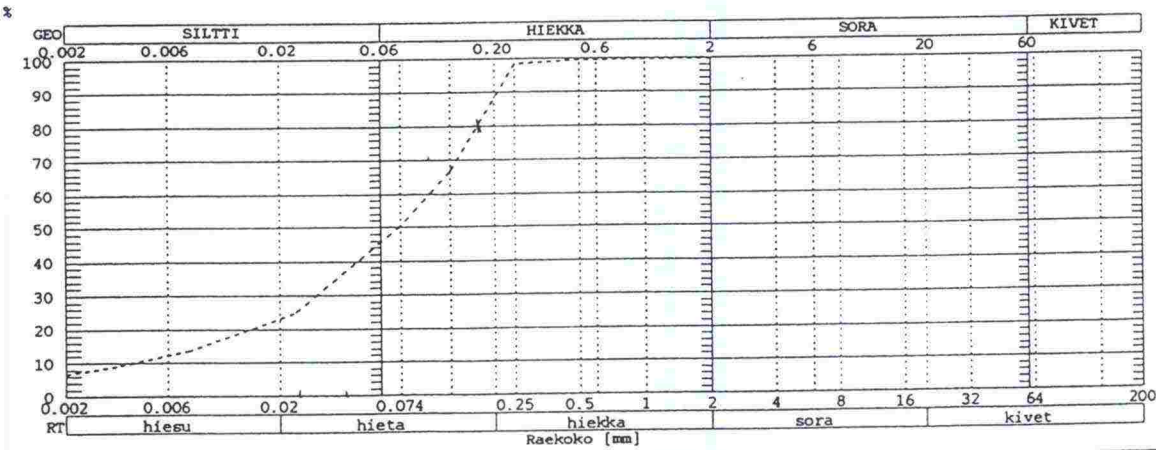
Kaksirengasinfiltrometrimittauksen tulokset

TIELAITOS
GEOKESKUS

LABORATORION TUTKIMUSSELOSTUS

Päivämäärä 071195
Työnumero 342
Tiedosto 3421995.MTD

Tiepiiri			
Tien nimi/Työmaa			
Paalu/Piste			
Häiritty(NO)/Häiriintymätön(NE)			
Näytteen tunnus	-----		
Tunnus			
Paalu	siHk03		
Syvyys			
Kiviä >300 mm	0.00		
200-300 mm	0.00		
64-200 mm	0.00		
Soraa 20-64 mm	0.00		
Irtotiheys			
Muotoarvo			
Murtopintaluku			
Vesipitoisuus %	-		
Humus:poltto, NaOH	-		
Lietepit. (0.074mm)	0.00		
Routivuus	Routiva		
Kantavuusluokka	F(G,E)		
Pengermat.käyttöl.			
Kapillaarisuus			
Maalajin nimi	siHk		



1	
2	
3	
4	

Päiväys	Tutki	
---------	-------	--

Proctor-koe

Tilaaja
Näyte
Maalaji

siHk03
siHk

Kiintotiheys
Luonnontil.vesipit.

2,65 g/cm³
15 %

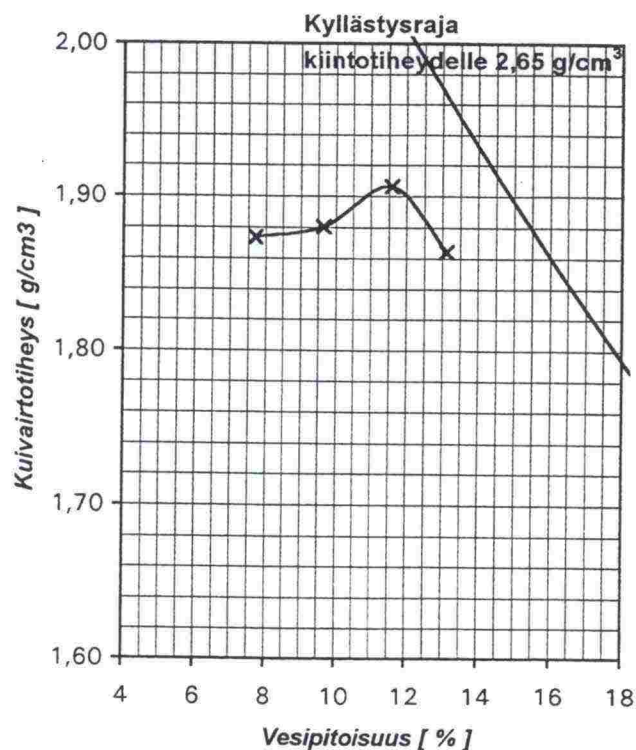
(arvio)

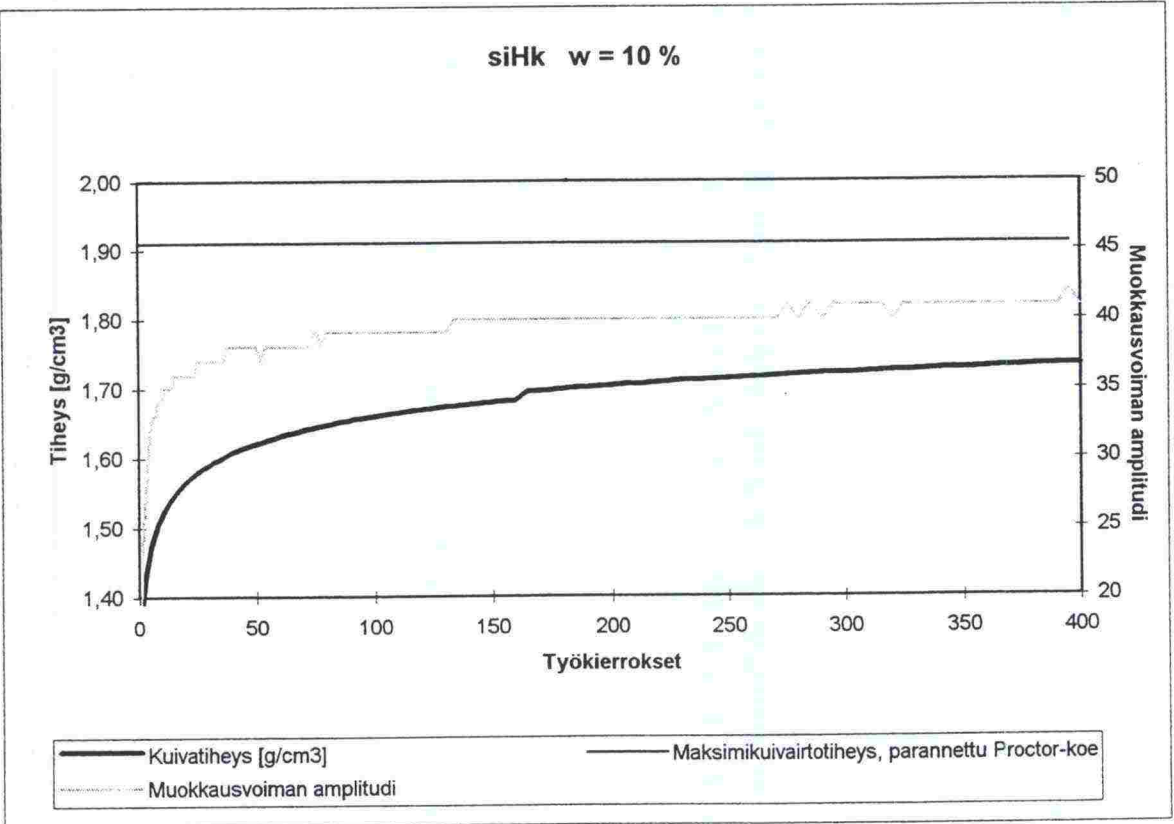
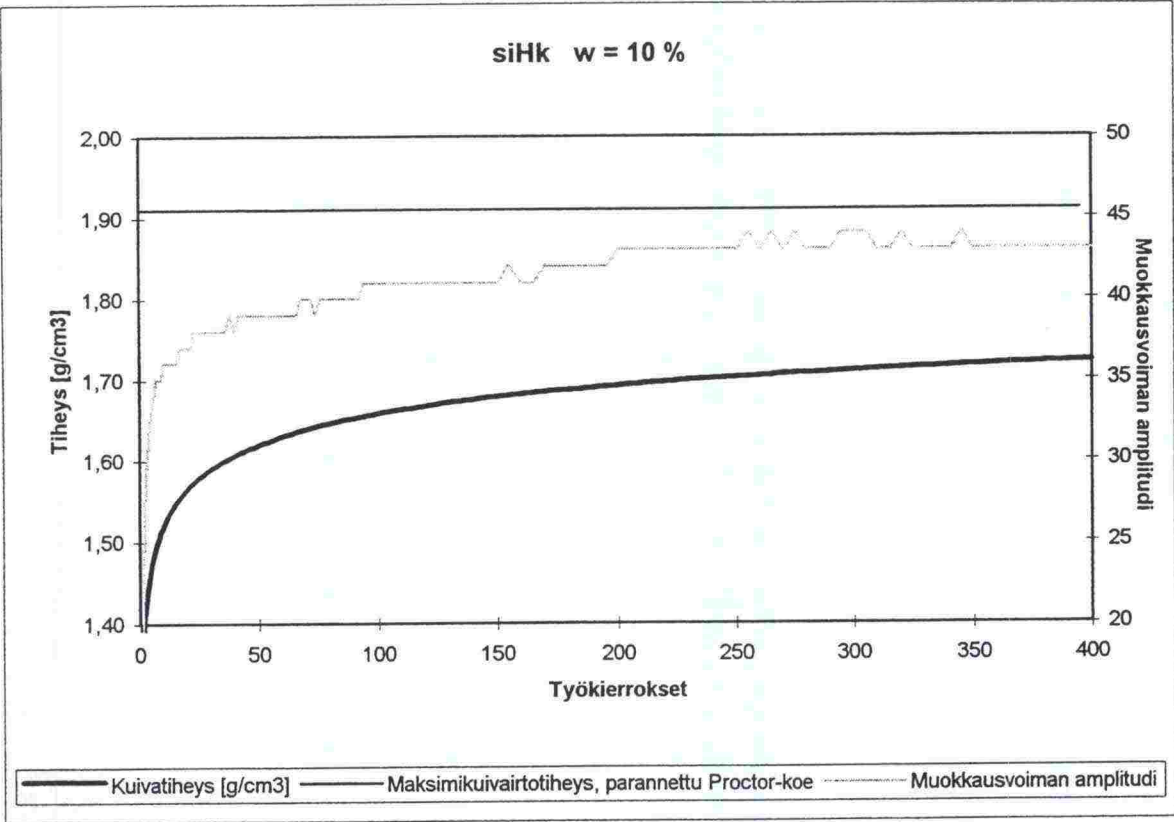
Proctor- muotin tilavuus	948 cm ³	1	2	3	4	5
Näytteen massa	g	2529,3	2440,7	2569,5	2714,8	
Haluttu kosteus	%	8,0	10,0	12,0	14,0	
Lisättävä vesimäärä	g	202	244	308	380	
Kostea näyte + muotti	g	6088,3	6130,0	6192,1	6174,8	
Muotti	g	4175,3	4175,3	4175,3	4175,3	
Näytteen massa märkänä	g	1913	1955	2017	2000	
Kosta näyte + astia	g	3299,1	3339,4	3396,1	3375,4	
Kuiva näyte + astia	g	3162,4	3167,9	3187,7	3144,5	
Astia	g	1391,5	1391,7	1390,6	1385,5	
Näytteen massa kuivana	g	1771	1776	1797	1759	
Veden massa	g	137	172	208	231	
Vesipitoisuus määstä massasta	%	7,17	8,81	10,39	11,60	
Vesipitoisuus kuivasta massasta	%	7,72	9,66	11,60	13,13	
Proctor-näytteen massa kuivana	g	1775,9	1782,6	1807,2	1767,5	
Märkäirtotiheys	g/cm ³	2,02	2,06	2,13	2,11	
Kuivairtotiheys	g/cm ³	1,87	1,88	1,91	1,86	

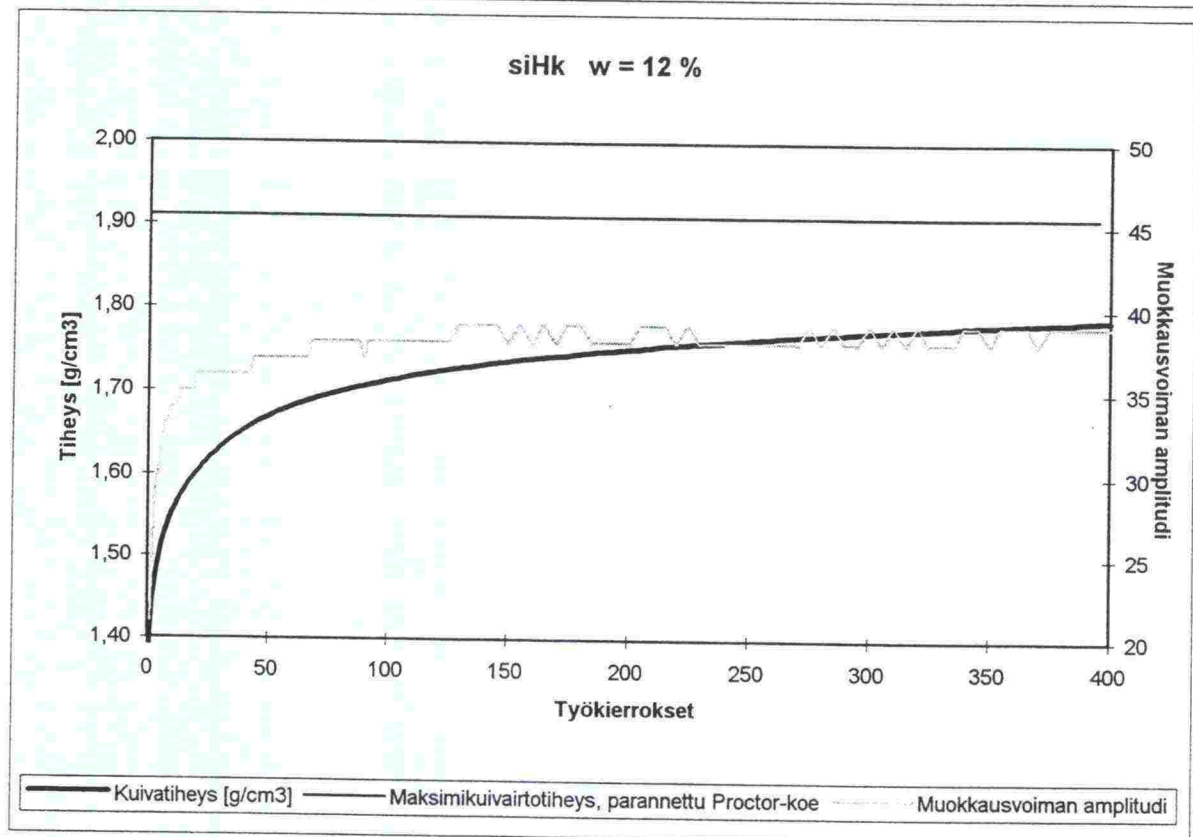
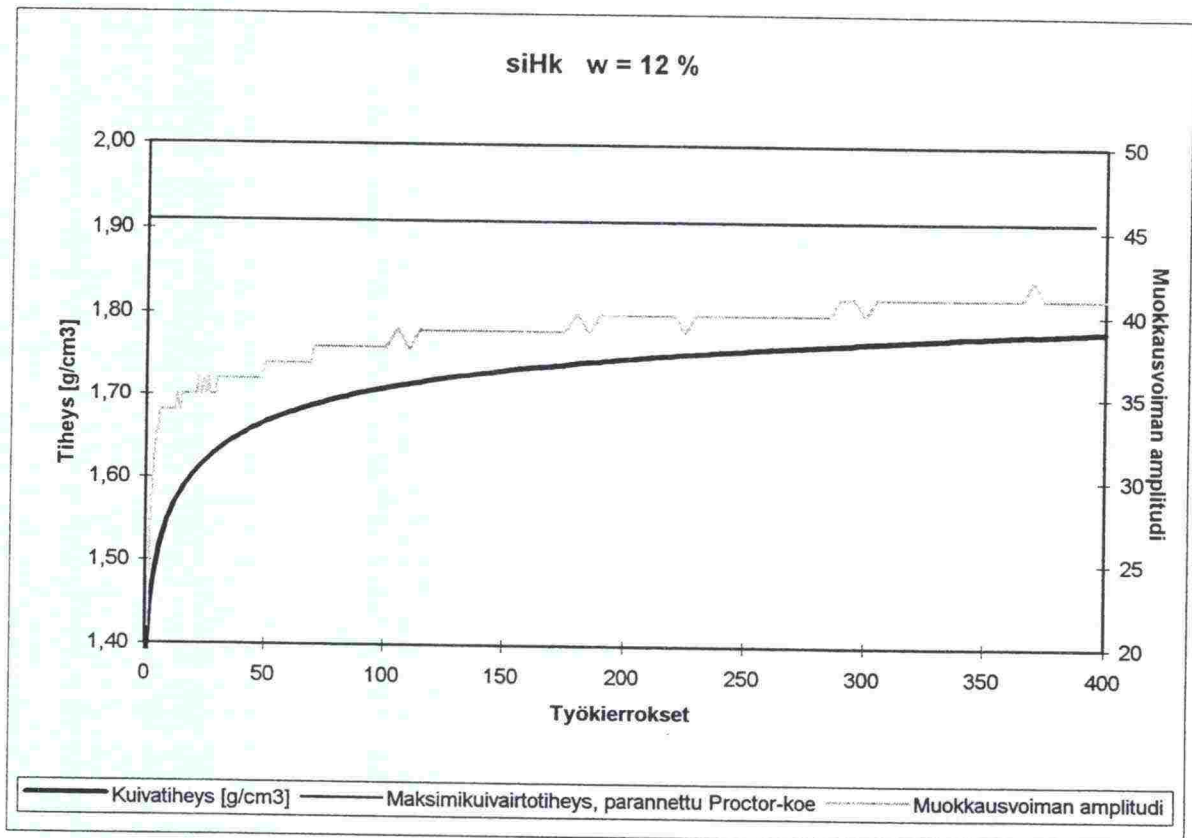
Parannettu proctorkoe:

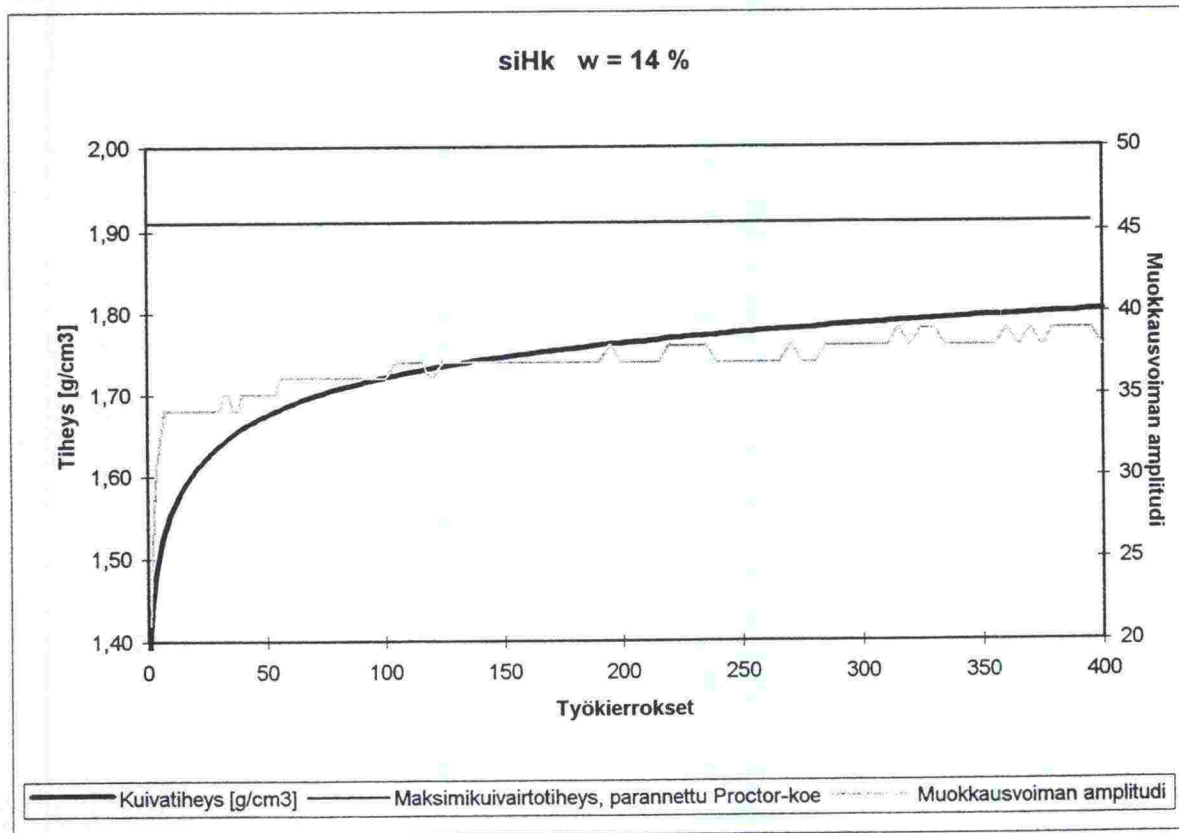
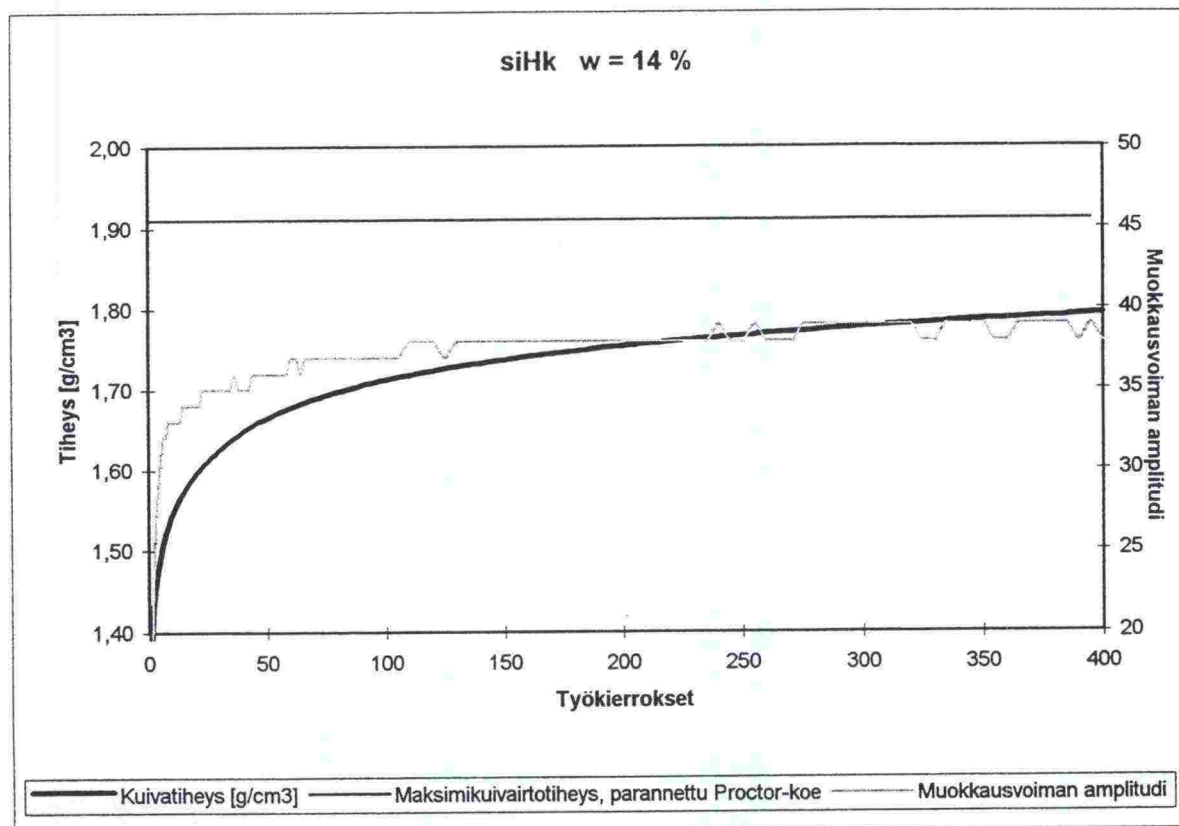
Maksimikuivairtotiheys 1,91 g/cm³
Optimivesipitoisuus 11,6 %

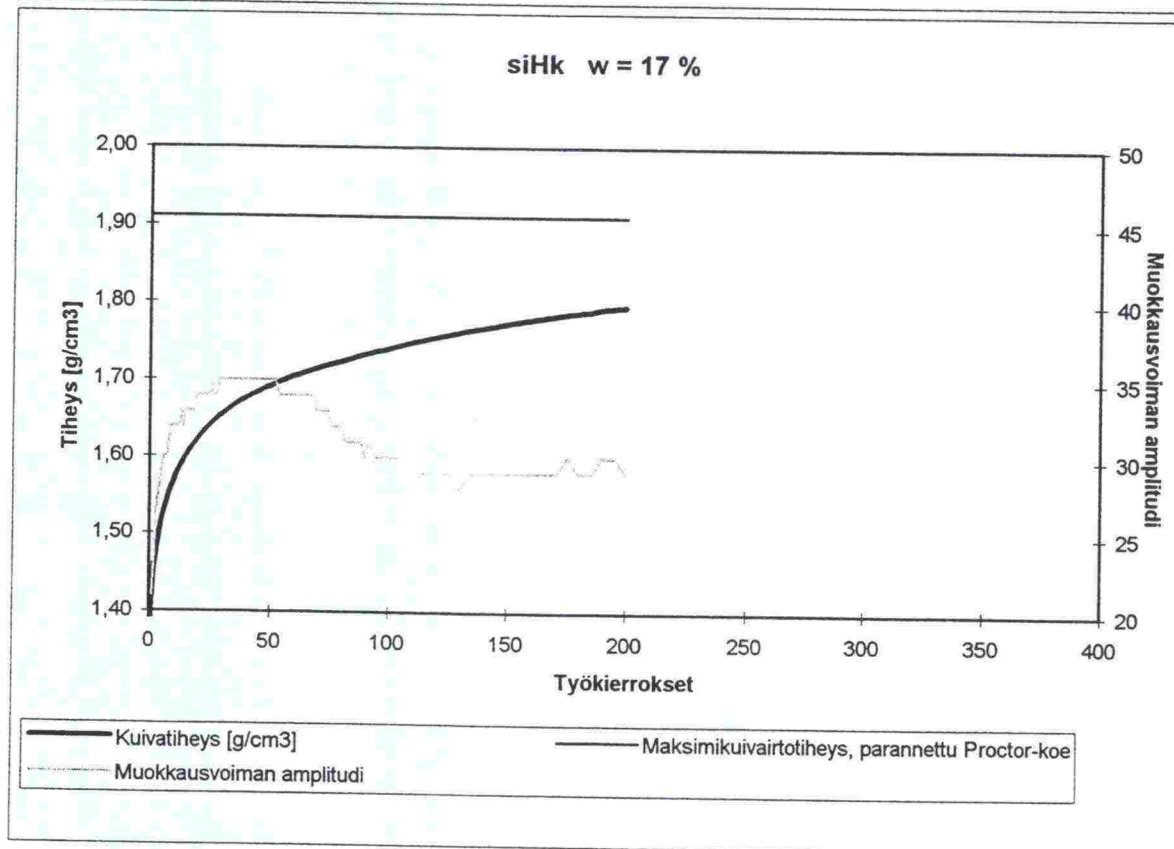
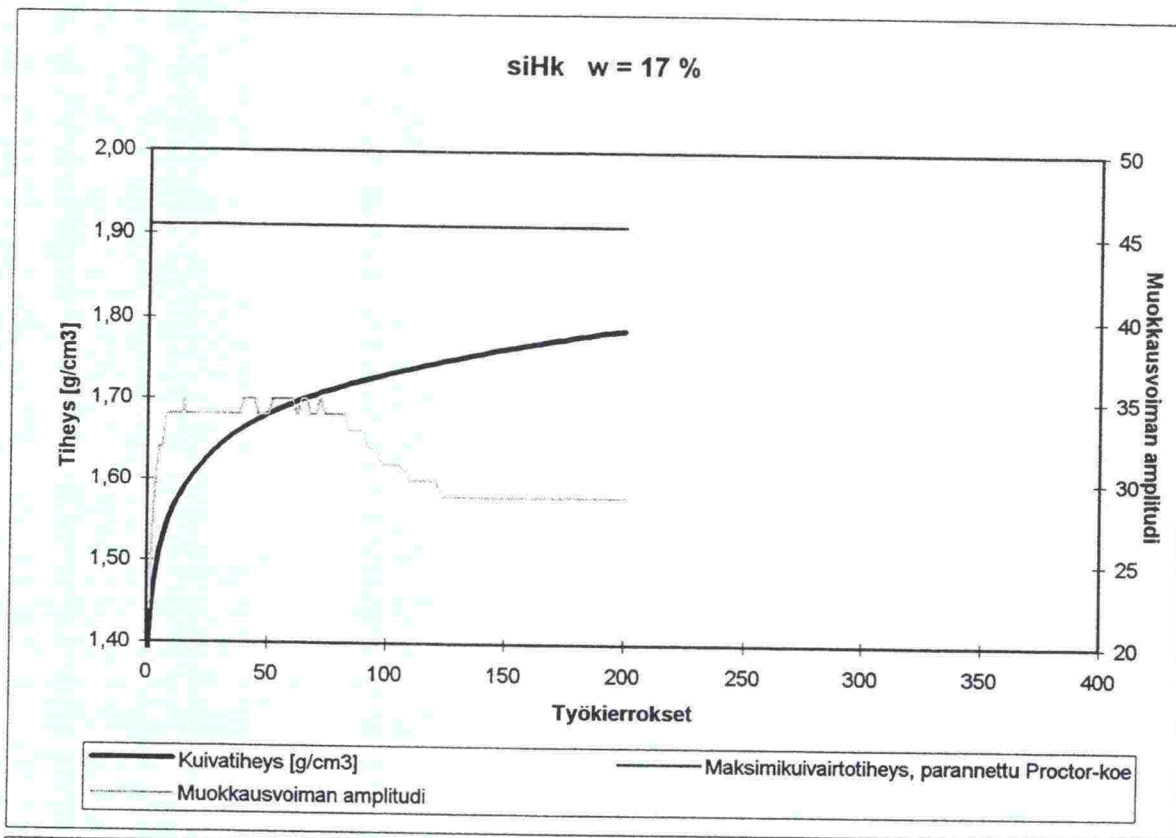
Pvm 5.11.1995
Tutki

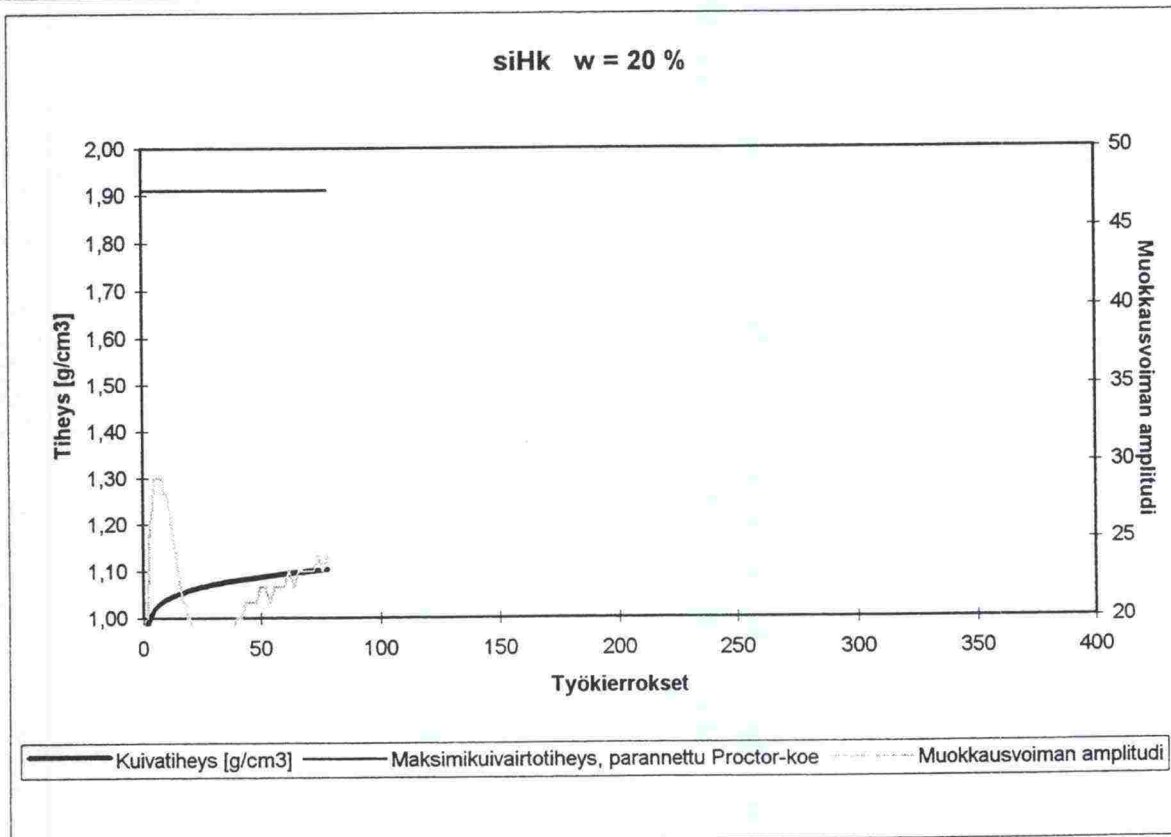
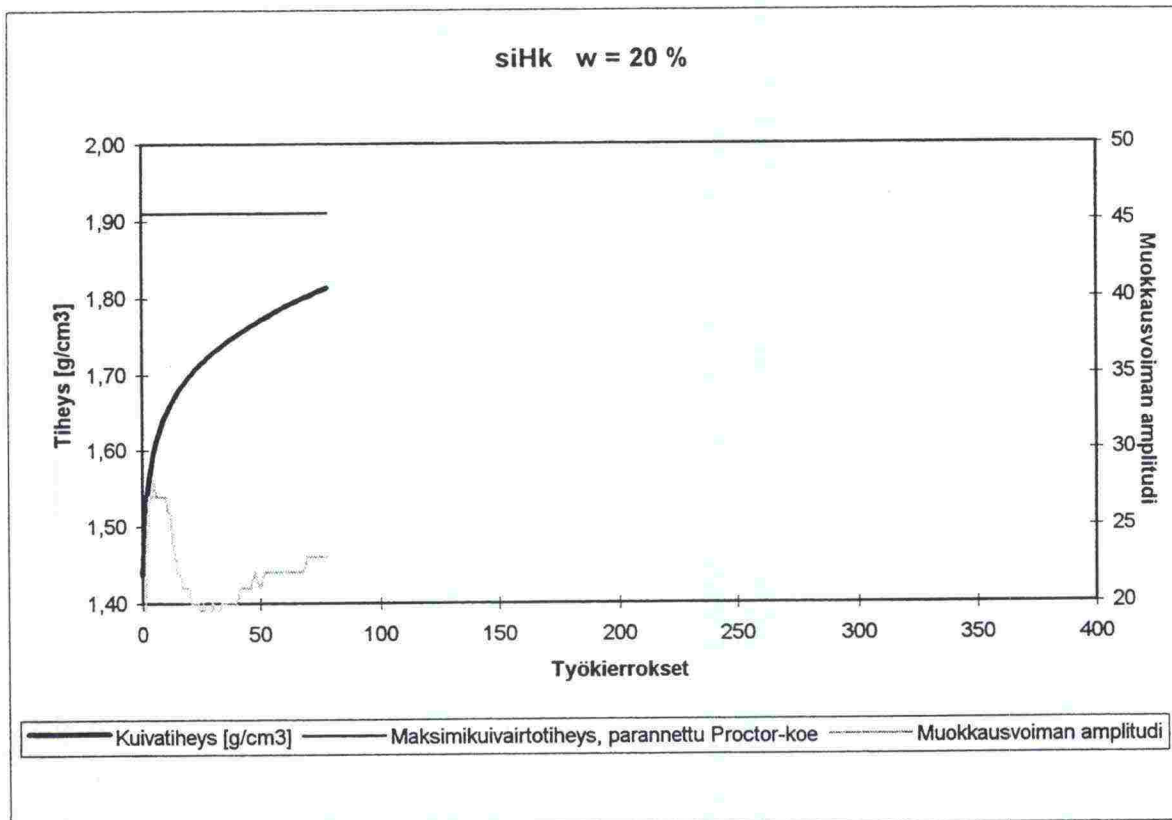


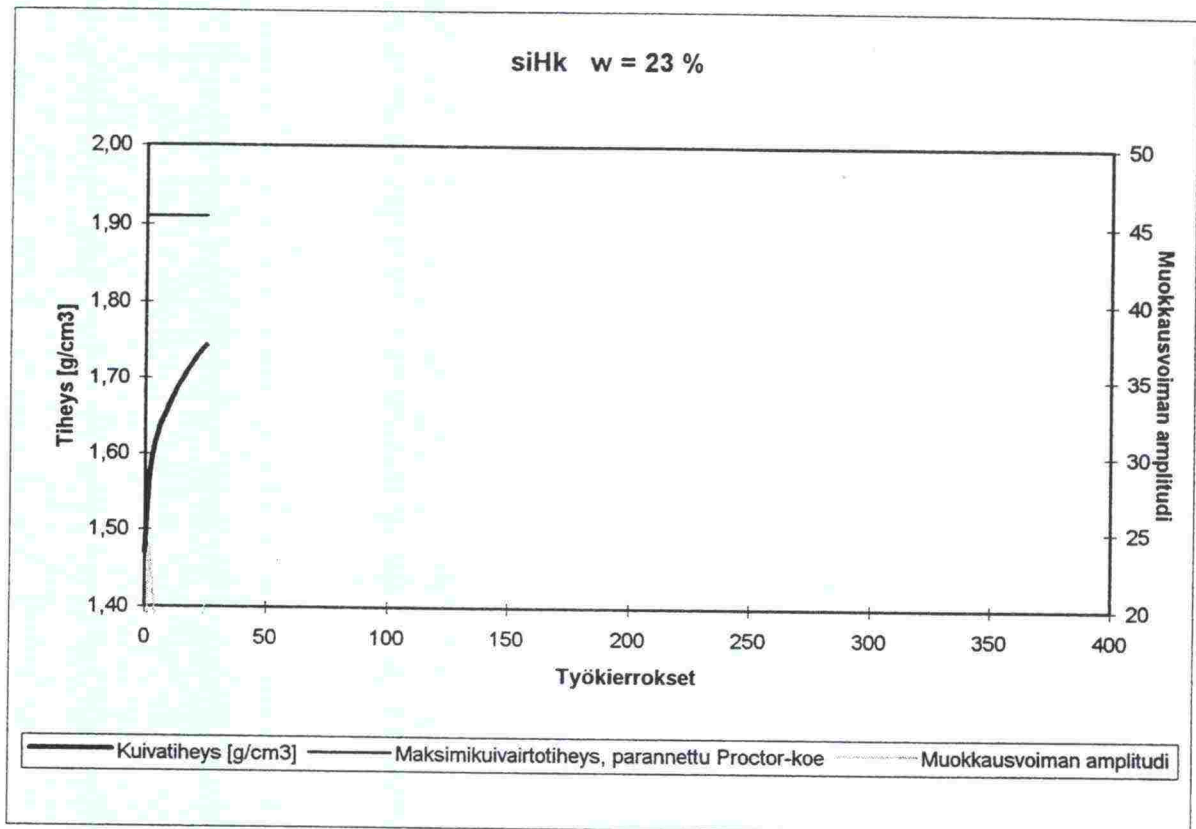












INTENSIVE
COMPACTION
TESTER

Vedenläpäisevyyšnäytteen tiivistys ICT:llä

AUG 5, 1996 12:39

Näyte

siHk03

TEST-ID 1
SAMPLE AGE 0 MIN
SAMPLE WEIGHT 1600 G
WORKING PRESS. 4.0 BAR

Sylinterin säde	mm	50
Sylinterin korkeus	mm	202
Näytteen massa	g	1600
Näytteen W-%	%	12,0
Optimivesipit.	%	11,6
Max.kuivairtoteihey	g/cm3	1,91
Max.tilavuuspaino	kN/m3	18,74

CYCL	DENS	COM	CSLU	F
05	1705			31
10	1759	54	60	33
20	1814	55	28	34
40	1871	57		35
81	1923	52		37

FINALLY
86 1931 8

Proctor-koe					Vedenläpäisevyysskoe						
Tiiviys- aste (%)	Näytteen kuiva		Näytteen märkä		Sylinterissä					Täysin kyllästytynäänä	
	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	näytettä (mm)	tyhjää (mm)	kiviain. (g)	vettä (g)	m-tiheys (g/cm3)	lisävetä (g)	vesipit. %
100	1,910	18,74	2,132	20,91	95,2	106,8	1428,6	171,4	2,139	0,0	12,0
99	1,891	18,55	2,110	20,70	96,2	105,8	1428,6	171,4	2,118	7,6	12,5
98	1,872	18,36	2,089	20,49	97,2	104,8	1428,6	171,4	2,096	15,3	13,1
97	1,853	18,17	2,068	20,28	98,2	103,8	1428,6	171,4	2,075	23,1	13,6
96	1,834	17,99	2,046	20,07	99,2	102,8	1428,6	171,4	2,054	31,2	14,2
95	1,815	17,80	2,025	19,87	100,2	101,8	1428,6	171,4	2,032	39,4	14,8
94	1,795	17,61	2,004	19,66	101,3	100,7	1428,6	171,4	2,011	47,7	15,3
93	1,776	17,43	1,982	19,45	102,4	99,6	1428,6	171,4	1,989	56,3	15,9
92	1,757	17,24	1,961	19,24	103,5	98,5	1428,6	171,4	1,968	65,0	16,6
91	1,738	17,05	1,940	19,03	104,6	97,4	1428,6	171,4	1,947	74,0	17,2
90	1,719	16,86	1,918	18,82	105,8	96,2	1428,6	171,4	1,925	83,1	17,8
89	1,700	16,68	1,897	18,61	107,0	95,0	1428,6	171,4	1,904	92,4	18,5
88	1,681	16,49	1,876	18,40	108,2	93,8	1428,6	171,4	1,882	102,0	19,1
87	1,662	16,30	1,854	18,19	109,5	92,5	1428,6	171,4	1,861	111,8	19,8
86	1,643	16,11	1,833	17,98	110,7	91,3	1428,6	171,4	1,840	121,8	20,5
85	1,624	15,93	1,812	17,77	112,0	90,0	1428,6	171,4	1,818	132,0	21,2
84	1,604	15,74	1,791	17,56	113,4	88,6	1428,6	171,4	1,797	142,5	22,0
83	1,585	15,55	1,769	17,36	114,7	87,3	1428,6	171,4	1,776	153,2	22,7
82	1,566	15,36	1,748	17,15	116,1	85,9	1428,6	171,4	1,754	164,2	23,5
81	1,547	15,18	1,727	16,94	117,6	84,4	1428,6	171,4	1,733	175,4	24,3
80	1,528	14,99	1,705	16,73	119,0	83,0	1428,6	171,4	1,711	187,0	25,1
79	1,509	14,80	1,684	16,52	120,5	81,5	1428,6	171,4	1,690	198,8	25,9
78	1,490	14,61	1,663	16,31	122,1	79,9	1428,6	171,4	1,669	211,0	26,8
77	1,471	14,43	1,641	16,10	123,7	78,3	1428,6	171,4	1,647	223,4	27,6
76	1,452	14,24	1,620	15,89	125,3	76,7	1428,6	171,4	1,626	236,2	28,5
75	1,433	14,05	1,599	15,68	127,0	75,0	1428,6	171,4	1,604	249,3	29,5
74	1,413	13,87	1,577	15,47	128,7	73,3	1428,6	171,4	1,583	262,8	30,4
73	1,394	13,68	1,556	15,26	130,5	71,5	1428,6	171,4	1,562	276,6	31,4
72	1,375	13,49	1,535	15,06	132,3	69,7	1428,6	171,4	1,540	290,9	32,4
71	1,356	13,30	1,513	14,85	134,1	67,9	1428,6	171,4	1,519	305,5	33,4
70	1,337	13,12	1,492	14,64	136,0	66,0	1428,6	171,4	1,497	320,5	34,4

Tielaitos
Geokeskus

VEDENLÄPÄISEVYYS

työnumero _____

TILAAJA	MAALAJI	siHk
HANKE	OPTIMI W%	11,6
NÄYTE siHk03-1	MAKSIMIKUIVAIRTOTIHEYS g/cm ³	1,91
Pvm. 9.8.96	TIIVYASTE %	90,9

LUONNONTILAISET INDEKSIOMINAIUUDET		NÄYTE KOKEEN JÄLKEEN	
VESIPITOISUUS %	15	HALKAISUJA, mm	100,0
HUMUSPITOISUUS %	0	KORKEUS, mm	105,0
HIENOAINESPITOISUUS # 0,074 %	50	VESIPITOISUUS, %	22,5
NÄYTE ENNEN KOETTA		KIINTOTIHEYS, g/cm ³	2,65
TIIVYSTYSTAPA	ICT 86 r, 4 bar	PAINO, g	1754,7
TIIVYASTE %	90	VEDEN MÄÄRÄ, g	322,3
VESIPITOISUUS ENNEN KOETTA, %	11,7	MÄRKÄTIHEYS, g/cm ³	2,13
PAINO ENNEN KOETTA, g	1600,0	KUIVATIHEYS, g/cm ³	1,74
KYLLÄSTYSASTE ENNEN KOETTA, %	59,0	TIIVYASTE %	90,9
LÄMPÖTILA °C	23	HUOKOSLUKU	0,53
MITTASELLIN SISÄHALK. mm	100	HUOKOISUUS, %	34,5
VEDEN SUUNTA NÄYTTEESÄ	YLÖS	KYLLÄSTYSASTE, %	113,4

mittaus	seli- paine kPa	etu- paine kPa	taka- paine kPa	aika	menevä vesi mm	tuleva vesi mm	gradientti	kt m/s	k20°C m/s
1	220	192	187	6.8.96 9:02	175,00	2,00	4,67	4,73E-07	4,40E-07
				6.8.96 10:59	159,00	17,00			
2	220	192	187	6.8.96 10:59	159,00	17,00	4,67	6,78E-07	6,32E-07
				6.8.96 13:00	136,00	40,00			
3	220	192	187	6.8.96 13:00	136,00	40,00	4,67	5,67E-07	5,28E-07
				6.8.96 15:09	116,00	61,00			
4	220	192	187	6.8.96 9:02	175,00	2,00	4,67	4,73E-07	4,40E-07
				6.8.96 10:59	159,00	17,00			
5	220	192	187	6.8.96 10:59	159,00	17,00	4,67	6,78E-07	6,32E-07
				6.8.96 13:00	136,00	40,00			
6	220	192	187	6.8.96 13:00	136,00	40,00	4,67	5,67E-07	5,28E-07
				6.8.96 15:09	116,00	61,00			
7	220	195	185	7.8.96 12:26	139,00	38,00	9,34	8,92E-07	8,31E-07
				7.8.96 14:06	89,00	88,00			
8	220	195	185	7.8.96 14:06	89,00	88,00	9,34	7,97E-07	7,42E-07
				7.8.96 15:21	55,50	121,50			
9	220	195	185	7.8.96 15:21	55,50	121,50	9,34	7,31E-07	6,81E-07
				7.8.96 16:22	30,50	146,50			
10	220	200	180	8.8.96 8:31	162,00	13,00	18,68	9,81E-07	9,14E-07
				8.8.96 8:41	151,00	24,00			
11	220	200	180	8.8.96 8:41	151,00	24,00	18,68	1,09E-06	1,02E-06
				8.8.96 8:51	138,50	36,00			
12	220	200	180	8.8.96 8:51	138,50	36,00	18,68	1,14E-06	1,06E-06
				8.8.96 9:01	126,00	49,00			
13	220	200	180	8.8.96 9:01	126,00	49,00	18,68	1,12E-06	1,04E-06
				8.8.96 9:48	67,00	108,00			
14	220	200	180	8.8.96 9:48	67,00	108,00	18,68	1,04E-06	9,73E-07
				8.8.96 10:26	22,00	152,00			

Kokeen tekijä: _____ EmP

Keskiarvot

Gradientti	Vedenläpäisevyys [m/s]
4,7	5,3E-07
9,3	7,5E-07
18,7	1,0E-06

Vedenläpäisevyyšnäytteen tiivistys ICT:llä

Näyte **siHk03**

Sylinterin säde	mm	50
Sylinterin korkeus	mm	202
Näytteen massa	g	1600
Näytteen W-%	%	14,0
Optimivesipit.	%	11,6
Max.kuivavirttihey	g/cm3	1,91
Max.tilavuuspaino	kN/m3	18,74

INTENSIVE COMPACTION TESTER

AUG 5, 1996 12:50

TEST-ID 2
SAMPLE AGE 0 MIN
SAMPLE WEIGHT 1600 G
WORKING PRESS. 4.0 BAR

CYCL	DENS	COM	CSLU	F
05	1746			30
10	1802	56	41	32
20	1859	57	65	34
40	1915	56		35

FINALLY
75 1965 50

Proctor-koe					Vedenläpäisevyysskoe						
Tiiviys- aste (%)	Näytteen kuiva		Näytteen märkä		Sylinterissä					Täysin kylästytneenä	
	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	näytettä (mm)	tyhjää (mm)	kiviain. (g)	vettä (g)	m-tiheys (g/cm3)	lisävetä (g)	vesipit. %
100	1,910	18,74	2,132	20,91	93,6	108,4	1403,5	196,5	2,177	0,0	14,0
99	1,891	18,55	2,110	20,70	94,5	107,5	1403,5	196,5	2,156	7,4	14,5
98	1,872	18,36	2,089	20,49	95,5	106,5	1403,5	196,5	2,134	15,0	15,1
97	1,853	18,17	2,068	20,28	96,5	105,5	1403,5	196,5	2,112	22,7	15,6
96	1,834	17,99	2,046	20,07	97,5	104,5	1403,5	196,5	2,090	30,6	16,2
95	1,815	17,80	2,025	19,87	98,5	103,5	1403,5	196,5	2,069	38,7	16,8
94	1,795	17,61	2,004	19,66	99,5	102,5	1403,5	196,5	2,047	46,9	17,3
93	1,776	17,43	1,982	19,45	100,6	101,4	1403,5	196,5	2,025	55,3	17,9
92	1,757	17,24	1,961	19,24	101,7	100,3	1403,5	196,5	2,003	63,9	18,6
91	1,738	17,05	1,940	19,03	102,8	99,2	1403,5	196,5	1,981	72,7	19,2
90	1,719	16,86	1,918	18,82	104,0	98,0	1403,5	196,5	1,960	81,6	19,8
89	1,700	16,68	1,897	18,61	105,1	96,9	1403,5	196,5	1,938	90,8	20,5
88	1,681	16,49	1,876	18,40	106,3	95,7	1403,5	196,5	1,916	100,2	21,1
87	1,662	16,30	1,854	18,19	107,5	94,5	1403,5	196,5	1,894	109,8	21,8
86	1,643	16,11	1,833	17,98	108,8	93,2	1403,5	196,5	1,873	119,6	22,5
85	1,624	15,93	1,812	17,77	110,1	91,9	1403,5	196,5	1,851	129,7	23,2
84	1,604	15,74	1,791	17,56	111,4	90,6	1403,5	196,5	1,829	140,0	24,0
83	1,585	15,55	1,769	17,36	112,7	89,3	1403,5	196,5	1,807	150,5	24,7
82	1,566	15,36	1,748	17,15	114,1	87,9	1403,5	196,5	1,785	161,3	25,5
81	1,547	15,18	1,727	16,94	115,5	86,5	1403,5	196,5	1,764	172,4	26,3
80	1,528	14,99	1,705	16,73	117,0	85,0	1403,5	196,5	1,742	183,7	27,1
79	1,509	14,80	1,684	16,52	118,4	83,6	1403,5	196,5	1,720	195,3	27,9
78	1,490	14,61	1,663	16,31	119,9	82,1	1403,5	196,5	1,698	207,3	28,8
77	1,471	14,43	1,641	16,10	121,5	80,5	1403,5	196,5	1,677	219,5	29,6
76	1,452	14,24	1,620	15,89	123,1	78,9	1403,5	196,5	1,655	232,0	30,5
75	1,433	14,05	1,599	15,68	124,7	77,3	1403,5	196,5	1,633	244,9	31,5
74	1,413	13,87	1,577	15,47	126,4	75,6	1403,5	196,5	1,611	258,2	32,4
73	1,394	13,68	1,556	15,26	128,2	73,8	1403,5	196,5	1,590	271,8	33,4
72	1,375	13,49	1,535	15,06	129,9	72,1	1403,5	196,5	1,568	285,8	34,4
71	1,356	13,30	1,513	14,85	131,8	70,2	1403,5	196,5	1,546	300,1	35,4
70	1,337	13,12	1,492	14,64	133,7	68,3	1403,5	196,5	1,524	314,9	36,4

Tielaitos
Geokeskus

VEDENLÄPÄISEVYYS

työnumero _____

TILAAJA	MAALAJI
HANKE	OPTIMI W% 11,6
NÄYTE siHk03-2	MAKSIMIKUIVAIRTOTIHEYYS g/cm ³ 1,91
Pvm. 9.8.96	TIIVYSASTE % 90,4

LUONNONTILAISET INDEKSIOMINAISSUUDET				NÄYTE KOKEEN JÄLKEEN			
VESIPITOISUUS %	15	HALKAISIJA, mm	100,0	KORKEUS, mm	104,0	VESIPITOISUUS, %	23,1
HUMUSPITOISUUS %	0					KIINTOTIHEYYS, g/cm ³	2,65
HIENOAINESPIITOISUUS # 0,074 %	50					PAINO, g	1735,3
NÄYTE ENNEN KOETTA				VEDEEN MÄÄRÄ, g			
TIIVISTYSTAPA	ICT 75 r, 4 bar			MÄRKÄTIHEYYS, g/cm ³	2,12	KUIVATIHEYYS, g/cm ³	1,73
TIIVYSASTE %	90			TIIVYSASTE %	90,4	HUOKOSLUKU	0,54
VESIPITOISUUS ENNEN KOETTA, %	13,5			HUOKOISUUS, %	34,9		
PAINO ENNEN KOETTA, g	1600,0			KYLLÄSTYSASTE, %	114,3		
KYLLÄSTYSASTE ENNEN KOETTA, %	66,8						
LÄMPÖTILA °C	23						
MITTASELLIN SISÄHALK. mm	100						
VEDEN SUUNTA NÄYTTEESÄ	YLÖS						

mittaus	sellipaine kPa	etupaine kPa	takapaine kPa	aika	menevä vesi mm	tuleva vesi mm	gradientti	kt m/s	k20°C m/s
1	220	192	187	6.8.96 9:02	172,00	-4,00	4,71	5,62E-07	5,23E-07
				6.8.96 11:00	153,50	15,00			
2	220	192	187	6.8.96 11:00	153,50	15,00	4,71	7,74E-07	7,21E-07
				6.8.96 13:01	126,50	41,00			
3	220	192	187	6.8.96 13:01	126,50	41,00	4,71	6,37E-07	5,93E-07
				6.8.96 15:10	103,50	64,50			
4	220	192	187	6.8.96 9:02	172,00	-4,00	4,71	5,62E-07	5,23E-07
				6.8.96 11:00	153,50	15,00			
5	220	192	187	6.8.96 11:00	153,50	15,00	4,71	7,74E-07	7,21E-07
				6.8.96 13:01	126,50	41,00			
6	220	192	187	6.8.96 13:01	126,50	41,00	4,71	6,37E-07	5,93E-07
				6.8.96 15:10	103,50	64,50			
7	220	195	185	7.8.96 12:25	125,00	41,00	9,43	9,90E-07	9,22E-07
				7.8.96 14:05	70,00	98,00			
8	220	195	185	7.8.96 14:05	70,00	98,00	9,43	8,48E-07	7,90E-07
				7.8.96 15:20	33,00	133,00			
9	220	195	185	7.8.96 15:20	33,00	133,00	9,43	7,91E-07	7,36E-07
				7.8.96 16:17	7,50	158,50			
10	220	200	180	8.8.96 8:30	161,00	4,00	18,86	9,72E-07	9,05E-07
				8.8.96 8:40	149,00	14,00			
11	220	200	180	8.8.96 8:40	149,00	14,00	18,86	1,19E-06	1,11E-06
				8.8.96 8:50	135,00	27,00			
12	220	200	180	8.8.96 8:50	135,00	27,00	18,86	1,17E-06	1,09E-06
				8.8.96 9:00	122,00	40,50			
13	220	200	180	8.8.96 9:00	122,00	40,50	18,86	1,20E-06	1,12E-06
				8.8.96 9:48	57,00	106,00			
14	220	200	180	8.8.96 9:48	57,00	106,00	18,86	1,12E-06	1,05E-06
				8.8.96 10:25	10,00	153,00			

Kokeen teki: EmP

Keskiarvot

Gradientti	Vedenläpäisevyys [m/s]
4,7	6,1E-07
9,4	8,2E-07
18,9	1,1E-06

Vedenläpäisevyyssäilytteen tiivistys ICT:llä

Näyte

siHk03

Sylinterin säde	mm	50
Sylinterin korkeus	mm	202
Näytteen massa	g	1600
Näytteen W-%	%	17,0
Optimivesipit.	%	11,6
Max.kuivavirtotihey	g/cm3	1,91
Max.tilavuuspaino	kN/m3	18,74

INTENSIVE COMPACTION TESTER

AUG 12, 1996 09:54

TEST-ID 2
SAMPLE AGE 0 MIN
SAMPLE WEIGHT 1600 G
WORKING PRESS. 4.0 BAR

CYCL DENS COM CSLU F
05 1787 29
10 1847 60 31

FINALLY
19 1903 56

Proctor-koe					Vedenläpäisevyysskoe						Täysin	
Tiiviys-aste (%)	Näytteen kuiva		Näytteen märkä		Sylinterissä					kyllästytynenä		
	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	näytettä (mm)	tyhjää (mm)	kiviain. (g)	vettä (g)	m-tiheys (g/cm3)	lisävettä (g)	vesipit. %	
100	1,910	18,74	2,132	20,91	91,2	110,8	1367,5	232,5	2,235	0,0	17,0	
99	1,891	18,55	2,110	20,70	92,1	109,9	1367,5	232,5	2,212	7,2	17,5	
98	1,872	18,36	2,089	20,49	93,0	109,0	1367,5	232,5	2,190	14,6	18,1	
97	1,853	18,17	2,068	20,28	94,0	108,0	1367,5	232,5	2,168	22,1	18,6	
96	1,834	17,99	2,046	20,07	95,0	107,0	1367,5	232,5	2,145	29,8	19,2	
95	1,815	17,80	2,025	19,87	96,0	106,0	1367,5	232,5	2,123	37,7	19,8	
94	1,795	17,61	2,004	19,66	97,0	105,0	1367,5	232,5	2,101	45,7	20,3	
93	1,776	17,43	1,982	19,45	98,0	104,0	1367,5	232,5	2,078	53,9	20,9	
92	1,757	17,24	1,961	19,24	99,1	102,9	1367,5	232,5	2,056	62,3	21,6	
91	1,738	17,05	1,940	19,03	100,2	101,8	1367,5	232,5	2,034	70,8	22,2	
90	1,719	16,86	1,918	18,82	101,3	100,7	1367,5	232,5	2,011	79,6	22,8	
89	1,700	16,68	1,897	18,61	102,4	99,6	1367,5	232,5	1,989	88,5	23,5	
88	1,681	16,49	1,876	18,40	103,6	98,4	1367,5	232,5	1,967	97,6	24,1	
87	1,662	16,30	1,854	18,19	104,8	97,2	1367,5	232,5	1,944	107,0	24,8	
86	1,643	16,11	1,833	17,98	106,0	96,0	1367,5	232,5	1,922	116,6	25,5	
85	1,624	15,93	1,812	17,77	107,2	94,8	1367,5	232,5	1,899	126,3	26,2	
84	1,604	15,74	1,791	17,56	108,5	93,5	1367,5	232,5	1,877	136,4	27,0	
83	1,585	15,55	1,769	17,36	109,8	92,2	1367,5	232,5	1,855	146,6	27,7	
82	1,566	15,36	1,748	17,15	111,2	90,8	1367,5	232,5	1,832	157,2	28,5	
81	1,547	15,18	1,727	16,94	112,5	89,5	1367,5	232,5	1,810	167,9	29,3	
80	1,528	14,99	1,705	16,73	114,0	88,0	1367,5	232,5	1,788	179,0	30,1	
79	1,509	14,80	1,684	16,52	115,4	86,6	1367,5	232,5	1,765	190,3	30,9	
78	1,490	14,61	1,663	16,31	116,9	85,1	1367,5	232,5	1,743	201,9	31,8	
77	1,471	14,43	1,641	16,10	118,4	83,6	1367,5	232,5	1,721	213,9	32,6	
76	1,452	14,24	1,620	15,89	119,9	82,1	1367,5	232,5	1,698	226,1	33,5	
75	1,433	14,05	1,599	15,68	121,5	80,5	1367,5	232,5	1,676	238,7	34,5	
74	1,413	13,87	1,577	15,47	123,2	78,8	1367,5	232,5	1,654	251,6	35,4	
73	1,394	13,68	1,556	15,26	124,9	77,1	1367,5	232,5	1,631	264,8	36,4	
72	1,375	13,49	1,535	15,06	126,6	75,4	1367,5	232,5	1,609	278,4	37,4	
71	1,356	13,30	1,513	14,85	128,4	73,6	1367,5	232,5	1,587	292,4	38,4	
70	1,337	13,12	1,492	14,64	130,2	71,8	1367,5	232,5	1,564	306,8	39,4	

Tielaitos
Geokeskus

VEDENLÄPÄISEVYYS

työnumero _____

TILAAJA	MAALAJI
HANKE	siHk
NÄYTE	OPTIMI W%
Pvm.	MAKSIMIKUIVAIRTOTIHEYYS g/cm ³
15.8.96	TIIVIYASTE %
	84,4

LUONNONTILAISET INDEKSIOMINAIUUDET		NÄYTE KOKEEN JÄLKEEN	
VESIPITOISUUS %	15	HALKAISIJA, mm	100,0
HUMUSPITOISUUS %	0	KORKEUS, mm	108,0
HIENOAINESPITOISUUS # 0,074 %	50	VESIPITOISUUS, %	23,3
NÄYTE ENNEN KOETTA		KIINTOTIHEYYS, g/cm ³	2,65
TIIVISTYSTAPA	ICT 19 r, 4 bar	PAINO, g	1686,2
TIIVIYASTE %	85	VEDEN MÄÄRÄ, g	318,6
VESIPITOISUUS ENNEN KOETTA, %	17,0	MÄRKÄTIHEYYS, g/cm ³	1,99
PAINO ENNEN KOETTA, g	1600,0	KUIVATIHEYYS, g/cm ³	1,61
KYLLÄSTYSASTE ENNEN KOETTA, %	70,0	TIIVIYASTE %	84,4
LÄMPÖTILA °C	23	HUOKOSLUKU	0,64
MITTASELLIN SISÄHALK. mm	100	HUOKOISUUS, %	39,2
VEDEN SUUNTA NÄYTTEESÄ	YLÖS	KYLLÄSTYSASTE, %	95,9

mittaus	seli-paine kPa	etu-paine kPa	taka-paine kPa	aika	menevä vesi mm	tuleva vesi mm	gradientti	kt m/s	k20°C m/s
1	220	192	187	12.8.96 8:28	140,00	23,00	4,54	5,49E-07	5,11E-07
				12.8.96 10:30	121,50	41,00			
2	220	192	187	12.8.96 10:30	121,50	41,00	4,54	5,54E-07	5,15E-07
				12.8.96 12:31	103,50	59,50			
3	220	192	187	12.8.96 12:31	103,50	59,50	4,54	5,71E-07	5,31E-07
				12.8.96 14:30	85,00	78,00			
4	220	192	187	12.8.96 14:30	152,50	5,00	4,54	4,71E-07	4,38E-07
				12.8.96 16:27	137,50	20,00			
5	220	200	180	14.8.96 13:16	137,50	20,00	18,16	1,03E-06	9,61E-07
				14.8.96 13:26	126,50	31,50			
6	220	200	180	14.8.96 13:26	126,50	31,50	18,16	1,24E-06	1,15E-06
				14.8.96 13:36	112,00	44,00			
7	220	200	180	14.8.96 13:36	149,00	14,00	18,16	1,24E-06	1,15E-06
				14.8.96 13:46	135,00	27,00			
8	220	195	185	15.8.96 13:50	108,50	48,50	9,08	9,32E-07	8,67E-07
				15.8.96 14:23	92,00	65,50			
9	220	195	185	15.8.96 14:23	92,00	65,50	9,08	9,01E-07	8,39E-07
				15.8.96 14:51	78,00	79,00			
10	220	195	185	15.8.96 14:51	78,00	79,00	9,08	9,18E-07	8,54E-07
				15.8.96 15:24	61,00	95,00			

Kokeen teki:

EmP

Keskiarvot

Gradientti	Vedenläpäisevyys [m/s]
4,5	5,0E-07
18,2	1,1E-06
9,1	8,5E-07

Vedenläpäisevyyšnäytteen tiivistys ICT:llä

Näyte

siHk03

Sylinterin säde	mm	50
Sylinterin korkeus	mm	202
Näytteen massa	g	1600
Näytteen W-%	%	17,0
Optimivesipit.	%	11,6
Max.kuivairtoisuus	g/cm3	1,91
Max.tilavuuspaino	kN/m3	18,74

INTENSIVE COMPACTION TESTER

AUG 12, 1996 09:49

TEST-ID 1
SAMPLE AGE 0 MIN
SAMPLE WEIGHT 1600 G
WORKING PRESS. 4.0 BAR

CYCL	DENS	COM	CSLU	F
05	1784			30
10	1840	56	21	31
20	1899	59	0	31
40	1962	63		33

FINALLY
69 2016 54

Proctor-koe					Vedenläpäisevyysskoe						
Tiiviys- aste (%)	Näytteen kuiva		Näytteen märkä		Sylinterissä					Täysin kyllästytynäänä	
	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	näytettä (mm)	tyhjää (mm)	kiviain. (g)	vettä (g)	m-tiheys (g/cm3)	lisävetä (g)	vesipit. %
100	1,910	18,74	2,132	20,91	91,2	110,8	1367,5	232,5	2,235	0,0	17,0
99	1,891	18,55	2,110	20,70	92,1	109,9	1367,5	232,5	2,212	7,2	17,5
98	1,872	18,36	2,089	20,49	93,0	109,0	1367,5	232,5	2,190	14,6	18,1
97	1,853	18,17	2,068	20,28	94,0	108,0	1367,5	232,5	2,168	22,1	18,6
96	1,834	17,99	2,046	20,07	95,0	107,0	1367,5	232,5	2,145	29,8	19,2
95	1,815	17,80	2,025	19,87	96,0	106,0	1367,5	232,5	2,123	37,7	19,8
94	1,795	17,61	2,004	19,66	97,0	105,0	1367,5	232,5	2,101	45,7	20,3
93	1,776	17,43	1,982	19,45	98,0	104,0	1367,5	232,5	2,078	53,9	20,9
92	1,757	17,24	1,961	19,24	99,1	102,9	1367,5	232,5	2,056	62,3	21,6
91	1,738	17,05	1,940	19,03	100,2	101,8	1367,5	232,5	2,034	70,8	22,2
90	1,719	16,86	1,918	18,82	101,3	100,7	1367,5	232,5	2,011	79,6	22,8
89	1,700	16,68	1,897	18,61	102,4	99,6	1367,5	232,5	1,989	88,5	23,5
88	1,681	16,49	1,876	18,40	103,6	98,4	1367,5	232,5	1,967	97,6	24,1
87	1,662	16,30	1,854	18,19	104,8	97,2	1367,5	232,5	1,944	107,0	24,8
86	1,643	16,11	1,833	17,98	106,0	96,0	1367,5	232,5	1,922	116,6	25,5
85	1,624	15,93	1,812	17,77	107,2	94,8	1367,5	232,5	1,899	126,3	26,2
84	1,604	15,74	1,791	17,56	108,5	93,5	1367,5	232,5	1,877	136,4	27,0
83	1,585	15,55	1,769	17,36	109,8	92,2	1367,5	232,5	1,855	146,6	27,7
82	1,566	15,36	1,748	17,15	111,2	90,8	1367,5	232,5	1,832	157,2	28,5
81	1,547	15,18	1,727	16,94	112,5	89,5	1367,5	232,5	1,810	167,9	29,3
80	1,528	14,99	1,705	16,73	114,0	88,0	1367,5	232,5	1,788	179,0	30,1
79	1,509	14,80	1,684	16,52	115,4	86,6	1367,5	232,5	1,765	190,3	30,9
78	1,490	14,61	1,663	16,31	116,9	85,1	1367,5	232,5	1,743	201,9	31,8
77	1,471	14,43	1,641	16,10	118,4	83,6	1367,5	232,5	1,721	213,9	32,6
76	1,452	14,24	1,620	15,89	119,9	82,1	1367,5	232,5	1,698	226,1	33,5
75	1,433	14,05	1,599	15,68	121,5	80,5	1367,5	232,5	1,676	238,7	34,5
74	1,413	13,87	1,577	15,47	123,2	78,8	1367,5	232,5	1,654	251,6	35,4
73	1,394	13,68	1,556	15,26	124,9	77,1	1367,5	232,5	1,631	264,8	36,4
72	1,375	13,49	1,535	15,06	126,6	75,4	1367,5	232,5	1,609	278,4	37,4
71	1,356	13,30	1,513	14,85	128,4	73,6	1367,5	232,5	1,587	292,4	38,4
70	1,337	13,12	1,492	14,64	130,2	71,8	1367,5	232,5	1,564	306,8	39,4

Tielaitos
Geokeskus

VEDENLÄPÄISEVYYS

työnumero _____

TILAAJA	MAALAJI
HANKE	siHk
NÄYTE	OPTIMI W%
siHk03-4	11,6
Pvm.	MAKSIMIKUIVAIRTOTIHEYS g/cm ³
15.8.96	1,91
	TIIVISASTE %
	90

LUONNONTILAISET INDEKSIOMINAIUUDET		NÄYTE KOKEEN JÄLKEEN	
VESIPITOISUUS %	15	HALKAISIJA, mm	100,0
HUMUSPITOISUUS %	0	KORKEUS, mm	99,4
HIENOAINESPITOISUUS # 0,074 %	50	VESIPITOISUUS, %	20,1
NÄYTE ENNEN KOETTA		KIINTOTIHEYS, g/cm ³	2,65
TIIVISTYSTAPA	ICT 69 r, 4 bar	PAINO, g	1642,4
TIIVISASTE %	90	VEDEN MÄÄRÄ, g	274,9
VESIPITOISUUS ENNEN KOETTA, %	17,0	MÄRKÄTIHEYS, g/cm ³	2,10
PAINO ENNEN KOETTA, g	1600,0	KUIVATIHEYS, g/cm ³	1,75
KYLLÄSTYSASTE ENNEN KOETTA, %	87,8	TIIVISASTE %	91,7
LÄMPÖTILA °C	23	HUOKOSLUKU	0,51
MITTASELLIN SISÄHALK. mm	100	HUOKOISUUS, %	33,9
VEDEN SUUNTA NÄYTTEESÄ	YLÖS	KYLLÄSTYSASTE, %	103,9

mittaus	sellipaine kPa	etupaine kPa	takapaine kPa	aika	menevä vesi mm	tuleva vesi mm	gradientti	kt m/s	k20°C m/s
1	220	192	187	12.8.96 8:29	167,00	-2,00	4,93	2,77E-07	2,58E-07
				12.8.96 10:31	157,00	8,00			
2	220	192	187	12.8.96 10:31	157,00	8,00	4,93	2,86E-07	2,66E-07
				12.8.96 12:32	147,50	19,00			
3	220	192	187	12.8.96 12:32	147,50	19,00	4,93	2,98E-07	2,78E-07
				12.8.96 14:31	137,50	30,00			
4	220	192	187	12.8.96 14:31	152,50	30,00	4,93	3,75E-07	3,50E-07
				12.8.96 16:28	137,50	41,00			
5	220	200	180	14.8.96 13:17	158,00	6,00	19,73	6,12E-07	5,70E-07
				14.8.96 13:27	150,50	13,00			
6	220	200	180	14.8.96 13:27	150,50	13,00	19,73	5,07E-07	4,72E-07
				14.8.96 13:37	144,50	19,00			
7	220	200	180	14.8.96 13:37	144,50	19,00	19,73	5,91E-07	5,50E-07
				14.8.96 13:47	137,50	26,00			
8	220	195	185	15.8.96 13:51	136,50	27,00	9,87	4,48E-07	4,17E-07
				15.8.96 14:24	128,00	36,00			
9	220	195	185	15.8.96 14:24	128,00	36,00	9,87	4,68E-07	4,35E-07
				15.8.96 14:52	120,00	43,50			
10	220	195	185	15.8.96 14:52	120,00	43,50	9,87	4,88E-07	4,55E-07
				15.8.96 15:24	110,50	52,50			

Kokeen teki:

EmP

Keskiarvot

Gradientti	Vedenläpäisevyys [m/s]
4,9	2,9E-07
19,7	5,3E-07
9,9	4,4E-07

Putkialenemamittauksen tulokset siHk03 syksy 1995

Paalu: 105925 oik 1

Mitattu vesipit. 17 % R_1 0,0175 m

Mitattu tiiviys 85 % R_2 0,00625 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
15.11.95 13:45			0,0		
15.11.95 14:04	0,32	1140	39,4	1,106	1,49E-07
15.11.95 14:23	0,63	1140	36,3	1,137	1,35E-07
15.11.95 14:42	0,95	1140	34,3	1,157	1,27E-07
15.11.95 15:01	1,27	1140	35,5	1,145	1,32E-07
15.11.95 15:20	1,58	1140	32,3	1,177	1,19E-07

Mittausten keskiarvo 1,3E-07

Paalu: 105925 vas 1

Mitattu vesipit. 16 % R_1 0,0175 m

Mitattu tiiviys 82 % R_2 0,00625 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
15.11.95 13:45			0,0		
15.11.95 14:05	0,33	1200	64,0	0,860	2,58E-07
15.11.95 14:25	0,67	1200	54,5	0,955	2,10E-07
15.11.95 14:43	0,97	1080	52,4	0,976	2,22E-07
15.11.95 15:02	1,28	1140	51,2	0,988	2,04E-07
15.11.95 15:21	1,60	1140	48,5	1,015	1,91E-07

Mittausten keskiarvo 2,2E-07

Paalu: 105959

Mitattu vesipit. 15 % R_1 0,0175 m

Mitattu tiiviys 87 % R_2 0,00625 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
15.11.95 13:48			0,0		
15.11.95 14:03	0,25	900	45,0	1,050	2,21E-07
15.11.95 14:18	0,50	900	45,7	1,043	2,25E-07
15.11.95 14:33	0,75	900	43,6	1,064	2,13E-07
15.11.95 14:37	0,82	240	0,0	1,500	
15.11.95 14:52	1,07	900	40,7	1,093	1,96E-07
15.11.95 15:07	1,32	900	39,1	1,109	1,87E-07

Mittausten keskiarvo 2,1E-07

Putkialenemamittauksen tulokset

siHk03 syksy 1995

Paalu: 105957

Mitattu vesipit. 15 % R_1 0,0175 m

Mitattu tiiviys 83 % R_2 0,00625 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
15.11.95 13:47			0,0		
15.11.95 14:02	0,25	900	92,3	0,577	5,92E-07
15.11.95 14:17	0,50	900	85,0	0,650	5,18E-07
15.11.95 14:32	0,75	900	83,5	0,665	5,04E-07
15.11.95 14:36	0,82	240	0,0	1,500	
15.11.95 14:50	1,05	840	72,4	0,776	4,37E-07
15.11.95 15:05	1,30	900	71,6	0,784	4,02E-07

Mittausten keskiarvo 4,9E-07

Paalu: 105959

Mitattu vesipit. 15 % R_1 0,0175 m

Mitattu tiiviys 85 % R_2 0,00625 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
15.11.95 13:46			0,0		
15.11.95 14:01	0,25	900	92,3	0,577	5,92E-07
15.11.95 14:16	0,50	900	85,0	0,650	5,18E-07
15.11.95 14:32	0,77	960	83,5	0,665	4,72E-07
15.11.95 14:35	0,82	180	0,0	1,500	
15.11.95 14:51	1,08	960	72,4	0,776	3,83E-07
15.11.95 15:06	1,33	900	71,6	0,784	4,02E-07

Mittausten keskiarvo 4,7E-07

Putkialenemamittauksen tulokset siHk03 kevät 1996

Paalu: 105942 R_1 0,0175 m

Upotettu lyömällä R_2 0,00625 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
4.6.96 13:33			0,0		
4.6.96 13:43	0,17	600	57,2	0,928	4,46E-07
4.6.96 13:53	0,33	600	61,2	0,888	4,87E-07
4.6.96 14:03	0,50	600	68,0	0,820	5,61E-07
4.6.96 14:13	0,67	600	61,5	0,885	4,90E-07

Mittausten keskiarvo 5,0E-07

Paalu: 105943 R_1 0,0175 m

Upotettu kairattuun reikään R_2 0,00625 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
4.6.96 13:34			0,0		
4.6.96 13:44	0,18	600	51,1	0,989	3,87E-07
4.6.96 13:54	0,35	600	53,9	0,961	4,14E-07
4.6.96 14:04	0,52	600	61,9	0,881	4,94E-07
4.6.96 14:14	0,68	600	51,6	0,984	3,92E-07

Mittausten keskiarvo 4,2E-07

Paalu: 105944 R_1 0,0175 m

Upotettu lyömällä R_2 0,00625 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
4.6.96 13:35			0,0		
4.6.96 13:45	0,20	600	88,4	0,616	8,27E-07
4.6.96 13:55	0,37	600	90,0	0,600	8,51E-07
4.6.96 14:05	0,53	600	96,0	0,540	9,49E-07
4.6.96 14:15	0,70	600	82,5	0,675	7,42E-07

Mittausten keskiarvo 8,4E-07

Paalu: 105945 R_1 0,0175 m

Upotettu kairattuun reikään R_2 0,00625 m

pvm & klo	t [h]	$t_2 - t_1$ [s]	Alenema [cm]	H [m]	Vedenläp. [m/s]
4.6.96 13:36			0,0		
4.6.96 13:46	0,22	600	42,2	1,078	3,07E-07
4.6.96 13:56	0,38	600	44,4	1,056	3,26E-07
4.6.96 14:06	0,55	600	54,9	0,951	4,23E-07
4.6.96 14:16	0,72	600	45,0	1,050	3,31E-07

Mittausten keskiarvo 3,5E-07

Kaksirengasinfiltrometrikokeiden tulokset

siHk03

syksy 1995

Paalu: 105925

Mitattu tiiviys 85 %

Mitattu vesipit. 17 %

Vedenpinta alussa 0,11 m

Tiivistekerroksen paksuus 0,7 m

Sisärengas									Ulkorengas					
Ala 0,071 m ²									Ala 0,283 m ²					
pvm & klo	t	t	H1	Ale-nema	V	Infiltraatio-nopeus	F	Veden-läpäisevyys	H2	Ale-nema	V	Infiltraatio-nopeus	F	Veden-läpäisevyys
[h]	[s]	[m]	[m]	[m]	[ml]	[m/s]		[m/s]	[m]	[m]	[ml]	[m/s]		[m/s]
15.11.95 13:05			0,172						0,172					
15.11.95 16:15	3,17	11400	0,180	0,008	565	7,02E-07	1	6,13E-07	0,184	0,012	3393	1,05E-06	0,5	4,62E-07
16.11.95 10:40	21,58	66300	0,205	0,033	2333	4,98E-07	1	4,48E-07	0,215	0,043	12158	6,49E-07	0,5	2,96E-07
16.11.95 13:50	24,75	11400	0,179	0,007	495	6,14E-07	1	5,35E-07	0,180	0,008	2262	7,02E-07	0,5	3,06E-07
16.11.95 15:38	26,55	6480	0,175	0,003	212	4,63E-07	1	4,02E-07	0,178	0,006	1696	9,26E-07	0,5	4,03E-07
Keskiarvot														
5,7E-07									8,3E-07					

Paalu: 105930

Mitattu tiiviys 82 %

Mitattu vesipit. 16 %

Vedenpinta alussa 0,11 m

Tiivistekerroksen paksuus 0,7 m

Sisärengas									Ulkorengas					
Ala 0,071 m ²									Ala 0,283 m ²					
pvm & klo	t	t	H1	Ale-nema	V	Infiltraatio-nopeus	F	Veden-läpäisevyys	H2	Ale-nema	V	Infiltraatio-nopeus	F	Veden-läpäisevyys
[h]	[s]	[m]	[m]	[m]	[ml]	[m/s]		[m/s]	[m]	[m]	[ml]	[m/s]		[m/s]
15.11.95 13:17			0,176						0,176					
15.11.95 16:22	3,08	11100	0,185	0,009	636	8,11E-07	1	7,09E-07	0,189	0,013	3676	1,17E-06	0,5	5,14E-07
16.11.95 11:10	21,88	67680	0,262	0,086	6079	1,27E-06	1	1,23E-06	0,270	0,094	26578	1,39E-06	0,5	6,79E-07
16.11.95 13:55	24,63	9900	0,188	0,012	848	1,21E-06	1	1,06E-06	0,188	0,012	3393	1,21E-06	0,5	5,32E-07
16.11.95 15:40	26,38	6300	0,183	0,007	495	1,11E-06	1	9,69E-07	0,185	0,009	2545	1,43E-06	0,5	6,24E-07
Keskiarvot														
1,1E-06									9,9E-07					

Paalu: 105958

Mitattu tiiviys 87 %

Mitattu vesipit. 15 %

Vedenpinta alussa 0,11 m

Tiivistekerroksen paksuus 0,7 m

Sisärengas									Ulkorengas					
Ala 0,071 m ²									Ala 0,283 m ²					
pvm & klo	t	t	H1	Ale-nema	V	Infiltraatio-nopeus	F	Veden-läpäisevyys	H2	Ale-nema	V	Infiltraatio-nopeus	F	Veden-läpäisevyys
[h]	[s]	[m]	[m]	[m]	[ml]	[m/s]		[m/s]	[m]	[m]	[ml]	[m/s]		[m/s]
15.11.95 15:00			0,175						0,175					
15.11.95 16:29	1,48	5340	0,196	0,021	1484	3,93E-06	1	3,49E-06	0,195	0,020	5655	3,75E-06	0,5	1,66E-06
16.11.95 11:29	20,48	68400	0,175	0,000	0		1		0,175	0,000	0		0,5	
16.11.95 13:26	22,43	7020	0,202	0,027	1909	3,85E-06	1	3,44E-06	0,194	0,019	5372	2,71E-06	0,5	1,20E-06
16.11.95 15:13	24,22	6420	0,200	0,025	1767	3,89E-06	1	3,47E-06	0,195	0,020	5655	3,12E-06	0,5	1,38E-06
Keskiarvot														
3,9E-06									3,5E-06					

Paalu: 105956

Mitattu tiiviys 84 %

Mitattu vesipit. 15 %

Vedenpinta alussa 0,11 m

Tiivistekerroksen paksuus 0,7 m

Sisärengas									Ulkorengas					
Ala 0,071 m ²									Ala 0,283 m ²					
pvm & klo	t	t	H1	Ale-nema	V	Infiltraatio-nopeus	F	Veden-läpäisevyys	H2	Ale-nema	V	Infiltraatio-nopeus	F	Veden-läpäisevyys
[h]	[s]	[m]	[m]	[m]	[ml]	[m/s]		[m/s]	[m]	[m]	[ml]	[m/s]		[m/s]
15.11.95 15:08			0,182						0,182					
15.11.95 16:35	1,45	5220	0,191	0,009	636	1,72E-06	1	1,51E-06	0,194	0,012	3393	2,30E-06	0,5	1,01E-06
16.11.95 11:37	20,48	68520	0,182	0,000	0		1		0,182	0,000	0		0,5	
16.11.95 13:32	22,40	6900	0,191	0,009	636	1,30E-06	1	1,14E-06	0,195	0,013	3676	1,88E-06	0,5	8,27E-07
16.11.95 15:17	24,15	6300	0,191	0,009	636	1,43E-06	1	1,25E-06	0,195	0,013	3676	2,06E-06	0,5	9,06E-07
Keskiarvot														
1,5E-06									2,1E-06					

Paalu: 105954

Mitattu tiiviys 15 %

Mitattu vesipit. 85 %

Vedenpinta alussa 0,11 m

Tiivistekerroksen paksuus 0,7 m

Sisärengas									Ulkorengas					
Ala 0,071 m ²									Ala 0,283 m ²					
pvm & klo	t	t	H1	Ale-nema	V	Infiltraatio-nopeus	F	Veden-läpäisevyys	H2	Ale-nema	V	Infiltraatio-nopeus	F	Veden-läpäisevyys
[h]	[s]	[m]	[m]	[m]	[ml]	[m/s]		[m/s]	[m]	[m]	[ml]	[m/s]		[m/s]
15.11.95 15:10			0,184						0,184					
15.11.95 16:41	1,52	5460	0,199	0,015	1060	2,75E-06	1	2,42E-06	0,199	0,015	4241	2,75E-06	0,5	1,21E-06
16.11.95 11:45	20,58	68640	0,184	0,000	0		1		0,184	0,000	0		0,5	
16.11.95 13:38	22,47	6780	0,196	0,012	848	1,77E-06	1	1,55E-06	0,198	0,014	3958	2,06E-06	0,5	9,08E-07
16.11.95 15:20	24,17	6120	0,198	0,014	990	2,29E-06	1	2,01E-06	0,199	0,015	4241	2,45E-06	0,5	1,08E-06
Keskiarvot														
2,3E-06									2,0E-06					

22 Teiden pohjavesisuojauskoeksissa käytettävien maatiivistien vedenläpäisevyyden määrittäminen
LIITE 2

Kaksirengasinfiltrimetrikokeiden tulokset

siHk03

kevät 1996

Paalu: 105969

Mitattu vesipit. % Tiivistekerroksen paksuus 0,7 m

Mitattu tiiviys %

Vedenpinta alussa 0,11 m

			Sisärengas						Ulkorengas					
			Ala 0,071 m ²						Ala 0,283 m ²					
pvm & klo	t	t	H1	Ale-	V	Infiltraatio-	F	Veden-	H2	Ale-	V	Infiltraatio-	F	Veden-
	[h]	[s]	[m]	nema	[ml]	nopeus		läpäisevyys	[m]	nema	[ml]	nopeus		läpäisevyys
				[m]		[m/s]		[m/s]		[m]		[m/s]		[m/s]
4.6.96 13:07			0,189						0,189					
4.6.96 14:26	1,32	4740	0,227	0,038	2686	8,02E-06	1	7,27E-06	0,236	0,047	13289	9,92E-06	0,5	4,55E-06
4.6.96 14:30	1,38	240	0,189						0,189					
4.6.96 15:35	2,47	3900	0,220	0,031	2191	7,95E-06	1	7,14E-06	0,230	0,041	11592	1,05E-05	0,5	4,78E-06
4.6.96 15:45	2,63	600	0,194						0,194					
4.6.96 17:11	4,07	5160	0,235	0,041	2898	7,95E-06	1	7,23E-06	0,247	0,053	14985	1,03E-05	0,5	4,75E-06
Keskiarvot			8,0E-06			7,2E-06			1,0E-05			4,7E-06		

Paalu: 105966,5

Mitattu vesipit. % Tiivistekerroksen paksuus 0,7 m

Mitattu tiiviys %

Vedenpinta alussa 0,11 m

			Sisärengas						Ulkorengas					
			Ala 0,071 m ²						Ala 0,283 m ²					
pvm & klo	t	t	H1	Ale-	V	Infiltraatio-	F	Veden-	H2	Ale-	V	Infiltraatio-	F	Veden-
	[h]	[s]	[m]	nema	[ml]	nopeus		läpäisevyys	[m]	nema	[ml]	nopeus		läpäisevyys
				[m]		[m/s]		[m/s]		[m]		[m/s]		[m/s]
4.6.96 13:15			0,194						0,194					
4.6.96 14:33	1,30	4680	0,225	0,031	2191	6,62E-06	1	5,95E-06	0,234	0,040	11310	8,55E-06	0,5	3,89E-06
4.6.96 14:38	1,38	300	0,205						0,205					
4.6.96 15:51	2,60	4380	0,240	0,035	2474	7,99E-06	1	7,22E-06	0,246	0,041	11592	9,36E-06	0,5	4,26E-06
4.6.96 16:00	2,75	540	0,194						0,194					
4.6.96 17:12	3,95	4320	0,229	0,035	2474	8,10E-06	1	7,32E-06	0,235	0,041	11592	9,49E-06	0,5	4,32E-06
Keskiarvot			7,6E-06			6,8E-06			9,1E-06			4,2E-06		

Paalu: 105971

Mitattu vesipit. % Tiivistekerroksen paksuus 0,7 m

Mitattu tiiviys %

Vedenpinta alussa 0,11 m

			Sisärengas						Ulkorengas					
			Ala 0,071 m ²						Ala 0,283 m ²					
pvm & klo	t	t	H1	Ale-	V	Infiltraatio-	F	Veden-	H2	Ale-	V	Infiltraatio-	F	Veden-
	[h]	[s]	[m]	nema	[ml]	nopeus		läpäisevyys	[m]	nema	[ml]	nopeus		läpäisevyys
				[m]		[m/s]		[m/s]		[m]		[m/s]		[m/s]
4.6.96 12:56			0,194						0,194					
4.6.96 13:18	0,37	1320	0,224	0,030	2121	2,27E-05	1	2,04E-05	0,235	0,041	11592	3,11E-05	0,5	1,41E-05
4.6.96 14:23	1,45	3900	0,194						0,194					
4.6.96 15:29	2,55	3960	0,219	0,025	1767	6,31E-06	1	5,63E-06	0,229	0,035	9896	8,84E-06	0,5	3,99E-06
4.6.96 15:34	2,63	300	0,194						0,194					
4.6.96 17:10	4,23	5760	0,235	0,041	2898	7,12E-06	1	6,48E-06	0,250	0,056	15834	9,72E-06	0,5	4,51E-06
Keskiarvot			1,2E-05			1,1E-05			1,7E-05			7,5E-06		

IaSa02

Rakeisuuslomake

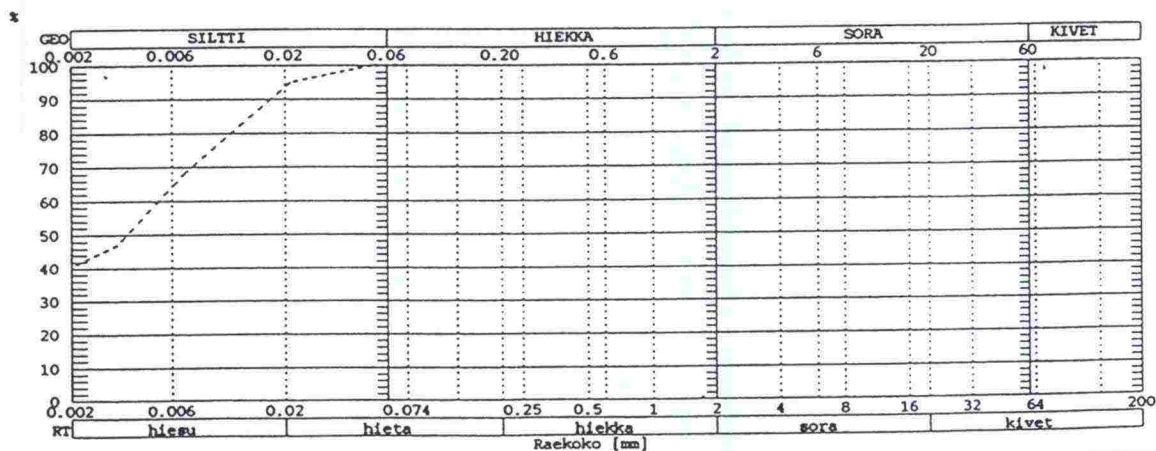
Vedenläpäisevyyskoelomake

TIELAITOS
GEOKESKUS

LABORATORION TUTKIMUSSELOSTUS

Päivämäärä 060696
Työnumero 177
Tiedosto 1771996.MTD

Tiepiiri				
Tien nimi/Työmaa				
Paalu/Piste				
Häiritty(NO)/Häiriintymätön(NE)	NO			
Näytteen tunnus	-----	-----	-----	
Tunnus	1	2	3	
Paalu	laSa02			
Syvyys	0-2	2-3	3-4	
Kiviä >300 mm	0.00	0.00	0.00	
200-300 mm	0.00	0.00	0.00	
64-200 mm	0.00	0.00	0.00	
Soraa 20-64 mm	0.00	0.00	0.00	
Irtotiheys				
Muotoarvo				
Murtopintaluku				
Vesipitoisuus %	29.66	-	-	
Humus:polttto, NaOH	0.21	-	-	
Lietepit. (0.074mm)	0.00	0.00	0.00	
Routivuus	Routiva			
Kantavuusluokka	F(G,E)			
Pengerma.käyttöl.				
Kapillaarisuus				
Maalajin nimi	laSa	* siHk	* saSi	



1	177/1 1kpl 8 mm:n kivi
2	* silmämääräinen arvio
3	* silmämääräinen arvio
4	

Päiväys	6. 6.-96	Tutki	OKSALA
---------	----------	-------	--------

Tielaitos
Geokeskus

VEDENLÄPÄISEVYYS

työnumero _____

TILAAJA	MAALAJI
HANKE	laSa
NÄYTE	OPTIMI W% ei määritetty
laSa02	MAKSIMIKUIVAIRTOTIHEYYS g/cm ³ ei määritetty
Pvm. 24.6.96	TIIVIYSASTE % ICT tiivistys

LUONNONTILAISET INDEKSIOMINAISSUDET		NÄYTE KOKEEN JÄLKEEN	
VESIPITOISUUS %	29,7	HALKAISIJA, mm	100,0
HUMUSPITOISUUS %	0,21	KORKEUS, mm	95,5
HIENOAINESPITOISUUS # 0,074 %	100	VESIPITOISUUS, %	31,2
NÄYTE ENNEN KOETTA		KIINTOTIHEYYS, g/cm ³	2,65
TIIVISTYSTAPA	ICT 22 r, 6 bar	PAINO, g	1422,0
TIIVIYSASTE %	ei määritetty	VEDEN MÄÄRÄ, g	338,2
VESIPITOISUUS ENNEN KOETTA, %	29,7	MÄRKÄTIHEYYS, g/cm ³	1,90
PAINO ENNEN KOETTA, g	1450,0	KUIVATIHEYYS, g/cm ³	1,45
KYLLÄSTYSASTE ENNEN KOETTA, %	97,4	TIIVIYSASTE %	ei määritetty
LÄMPÖTILA °C	23	HUOKOSLUKU	0,83
MITTASELLIN SISÄHALK. mm	30	HUOKOISUUS, %	45,5
VEDEN SUUNTA NÄYTTEESÄ	YLÖS	KYLLÄSTYSASTE, %	99,1

mittaus	sellipaine kPa	etupaine kPa	takapaine kPa	aika	menevä vesi mm	tuleva vesi mm	gradientti	kt m/s	k20°C m/s
1	220	200	180	14.6.96 15:45	123,00	32,00	20,54	7,47E-10	6,95E-10
				17.6.96 8:07	105,00	93,00			
2	220	200	180	17.6.96 8:07	105,00	93,00	20,54	4,20E-10	3,91E-10
				17.6.96 15:22	103,00	96,00			
3	220	200	180	17.6.96 15:22	103,00	96,00	20,54	3,45E-10	3,21E-10
				18.6.96 8:07	97,50	100,00			
4	220	200	180	18.6.96 8:07	97,50	100,00	20,54	3,09E-10	2,88E-10
				18.6.96 16:00	95,50	102,00			
5	220	200	180	18.6.96 16:00	95,50	102,00	20,54	3,31E-10	3,08E-10
				19.6.96 8:33	91,00	106,50			
6	220	200	180	19.6.96 8:33	91,00	106,50	20,54	2,64E-10	2,46E-10
				19.6.96 15:28	89,50	108,00			
7	220	200	180	19.6.96 15:28	89,50	108,00	20,54	3,23E-10	3,01E-10
				20.6.96 8:25	84,50	112,00			

Kokeen teki: _____ EmP

Keskiarvot

Gradientti	Vedenläpäisevyys [m/s]
20,5	3,6E-10

hHk04

Rakeisuuslomake

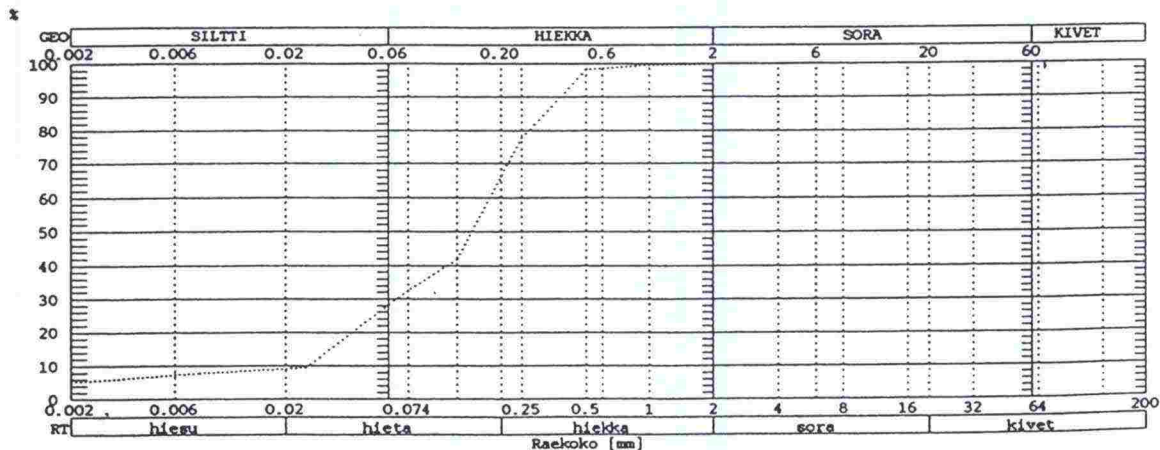
Vedenläpäisevyyskoelomake

TIELAITOS
GEOKESKUS

LABORATORION TUTKIMUSSELOSTUS

Päivämäärä 060696
Työnumero 183
Tiedosto 1831996.MTD

Tiepiiri			
Tien nimi/Työmaa			
Paalu/Piste			
Häiritty(NO)/Häiriintymätön(NE)	NO		
Näytteen tunnus			
Tunnus	1	2	3
Paalu	hHk04		
Syvyys	0-1	1-3	3-4
Kiviä >300 mm	0.00	0.00	0.00
200-300 mm	0.00	0.00	0.00
64-200 mm	0.00	0.00	0.00
Soraa 20-64 mm	0.00	0.00	0.00
Irtotiheys			
Muotoarvo			
Murtopintaluku			
Vesipitoisuus %	-	17.65	-
Humus: poltto, NaOH	-	-	-
Lietepit. (0.074mm)	0.00	0.00	0.00
Routivuus		Routiva	
Kantavuusluokka		E	
Pengerma.käyttöl.			
Kapillaarisuus			
Maalajin nimi	* saSi	hHk	* hHk



1	* silmämääräinen arvio
2	
3	* silmämääräinen arvio
4	

Päiväys	6. 6.-96	Tutki	OKSALA
---------	----------	-------	--------



Tielaitos
Geokeskus

VEDENLÄPÄISEVYYSKOE vakiopainekorkeudella

Gk:n työnro :

pvm : 10/6 1996

Kohde

Paalu

Maalaji

Syvyys

1-3 m

Sullonta

10T 4 bar / 14 r

$$k(20^{\circ}\text{C}) = \alpha \cdot Q \cdot h / (t \cdot A \cdot H)$$

$$= \alpha \cdot k(T)$$

ENNEN KOETTA

$$\rho_d = 1,78 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_w = 2,08 \text{ g/cm}^3$$

- k(T) = vedenläpäisevyys koeolosuhteissa
k(20°C) = vedenläpäisevyys lämpötilassa +20 °C
Q = näytteen läpi virrannut vesimäärä
t = havintoaika sekunneissa
h = näytteen korkeus
A = näytteen poikkipinta-ala
H = painekorkeus
T = veden lämpötila kokeen aikana
 α = lämpötilakerroin
 ρ = kuivairtitiheys kokeen jälkeen
 ρ = irtotiheys kokeen jälkeen
w1 = näytteen vesipitoisuus tiivistettäessä
w2 = vesipitoisuus kokeen jälkeen

9,8	cm
78,54	cm ²
88,3	cm
18,5	°C
1,04	-
1,78	g/cm ³
2,09	g/cm ³
16,6	%
16,9	%

$$h/(A \cdot H) = \underline{1,413 \cdot 10^{-3}}$$

Pvm	Kello	t [s]	Q [cm ³]	Q/t	Q · h / (t · A · H)	k(20°C)
10.6.	11.10					
	12.28	4680	69,9	0,014936	$2,11 \cdot 10^{-5}$	$2,19 \cdot 10^{-5}$
	12.28					
	13.43	4500	54,1	0,012022	$1,70 \cdot 10^{-5}$	$1,77 \cdot 10^{-5}$
	13.43					
	14.55	4320	35,1	0,008125	$1,15 \cdot 10^{-5}$	$1,20 \cdot 10^{-5}$

Summa

Näytteen keskimääräinen vedenläpäisevyys k(20°C) =

$$\underline{1,7 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}}$$

Kokeen teki:

B. Piehikainen

$$= 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$$

	POSTIOSOITE	KÄYNTIOSOITE	LABORATORIO- NÄYTTEIDEN TOIMITUS	PUHELIN	TELEFAX
Geokeskus	PL 33 00521 HELSINKI	Opastinsilta 12 A 00520 HELSINKI	Kirjurinkatu 2-4 00520 HELSINKI	(90) 148 721	(90) 1487 2826
Geokeskus, Oulun kehitysyksikkö	PL 261 90101 OULU	Kansankatu 47 90101 OULU		(981) 310 9383	(981) 310 9282

hHk05

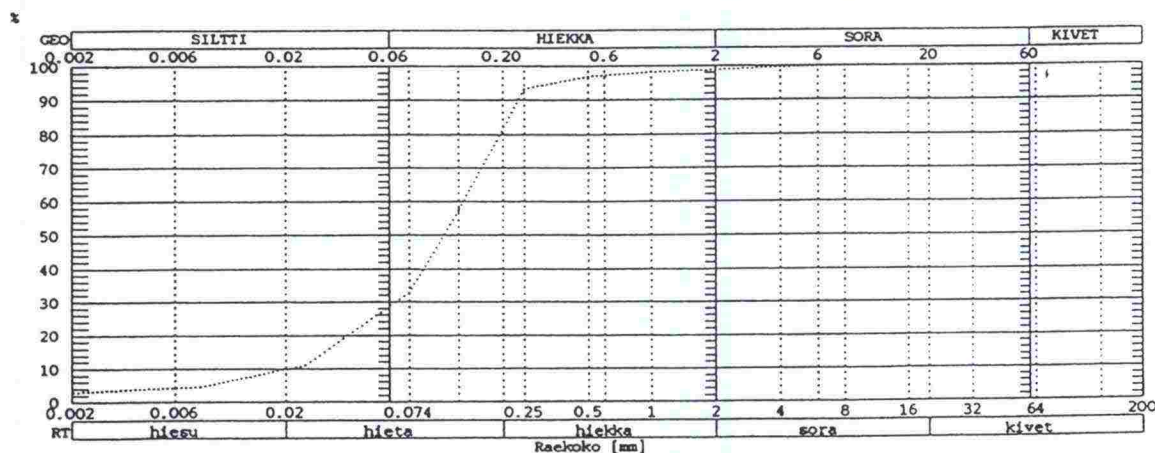
Rakeisuuslomake
Vedenläpäisevyyskoelomake

TIELAITOS
GEOKESKUS

LABORATORION TUTKIMUSSELOSTUS

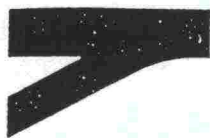
Päivämäärä 060696
Työnumero 185
Tiedosto 1851996.MTD

Tiepiiri			
Tien nimi/Työmaa			
Paalu/Piste			
Häiritty(NO)/Häiriintymätön(NE)	NO		
Näytteen tunnus	-----	-----	-----
Tunnus	1	2	3
Paalu	hHk05		
Syvyys	0-1	1-3	3-4
Kiviä >300 mm	0.00	0.00	0.00
200-300 mm	0.00	0.00	0.00
64-200 mm	0.00	0.00	0.00
Soraa 20-64 mm	0.00	0.00	0.00
Irtotiheys			
Muotoarvo			
Murtopintaluku			
Vesipitoisuus %	-	10.71	-
Humus: poltto, NaOH	-	-	-
Lietepit. (0.074mm)	0.00	0.00	0.00
Routivuus		Routiva	
Kantavuusluokka		E	
Pengermat.käyttöl.			
Kapillaarisuus			
Maalajin nimi	* siHk(Mr)	hHk	* HkMr



1	* silmämääräinen arvio
2	
3	* silmämääräinen arvio
4	

Päiväys	6. 6.-96	Tutki	OKSALA
---------	----------	-------	--------



Tielaitos
Geokeskus

VEDENLÄPÄISEVYYSKOE

vakiopainekorkeudella

Gk:n työnro :

pvm : 11/6 1996

Kohde

Paalu

Maalaji

Syvyys

1-3 m

Sullonta

16T 4 bar/81 r

$$k(20^{\circ}\text{C}) = \alpha \cdot Q \cdot h / (t \cdot A \cdot H)$$

$$= \alpha \cdot k(T)$$

ENNEN KOETTA

$$\rho_d = 1,73 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_w = 1,00 \text{ g/cm}^3$$

- $k(T)$ = vedenläpäisevyys koeolosuhteissa
 $k(20^{\circ}\text{C})$ = vedenläpäisevyys lämpötilassa $+20^{\circ}\text{C}$
 Q = näytteen läpi virrannut vesimäärä
 t = havintoaika sekunneissa
 h = näytteen korkeus
 A = näytteen poikkipinta-ala
 H = painekorkeus
 T = veden lämpötila kokeen aikana
 α = lämpötilakerroin
 ρ = kuivairtitiheys kokeen jälkeen
 ρ = irtitiheys kokeen jälkeen
 w_1 = näytteen vesipitoisuus tiivistettäessä
 w_2 = vesipitoisuus kokeen jälkeen

10,4	cm
78,54	cm ²
88,3	cm
18,5	°C
1,04	-
1,73	g/cm ³
2,00	g/cm ³
9,9	%
15,8	%

$$h/(A \cdot H) = \underline{1,4776 \cdot 10^{-3}}$$

Pvm	Kello	t [s]	Q [cm ³]	Q/t	$Q \cdot h / (t \cdot A \cdot H)$	$k(20^{\circ}\text{C})$
11.6.	10.00					
	10.55	3300	398,9	0,120879	$1,81 \cdot 10^{-4}$	$1,89 \cdot 10^{-7}$
	10.56					
	12.02	3960	479,4	0,121061	$1,82 \cdot 10^{-4}$	$1,89 \cdot 10^{-4}$
	12.03					
	12.56	3180	372,1	0,117013	$1,75 \cdot 10^{-4}$	$1,82 \cdot 10^{-4}$

Summa

Näytteen keskimääräinen vedenläpäisevyys $k(20^{\circ}\text{C}) =$

$$\underline{1,9 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}}$$

Kokeen teki:

E. Pietikäinen

$$= 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

	POSTIOSOITE	KÄYNTIOSOITE	LABORATORIO: NÄYTTEIDEN TOIMITUS	PUHELIN	TELEFAX
Geokeskus	PL 33 00521 HELSINKI	Opastinsilta 12 A 00520 HELSINKI	Kirjurinkatu 2-4 00520 HELSINKI	(90) 148 721	(90) 1487 2826
Geokeskus, Oulun kehitysyksikkö	PL 261 90101 OULU	Kansankatu 47 90101 OULU		(981) 310 9383	(981) 310 9282

HkMr02

Rakeisuuslomake

Proctorkoelomake

Vedenläpäisevyyšnäytteen ICT tiivistystiedot (2 koetta)

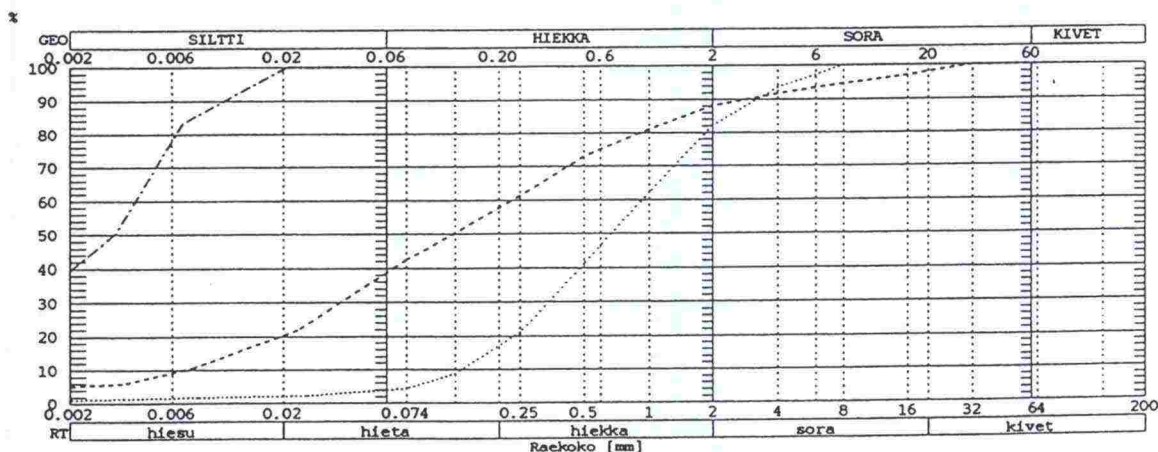
Vedenläpäisevyyskoelomake (2 koetta)

TIELAITOS
GEOKESKUS

LABORATORION TUTKIMUSSELOSTUS

Päivämäärä 250196
Työnumero 3340
Tiedosto 0361996.MTD

Tiepiiri			
Tien nimi/Työmaa			
Paalu/Piste			
Häiritty(NO)/Häiriintymätön(NE)	NO		
Näytteen tunnus			
Tunnus	1	2	3
Paalu	HkMr02		
Syvyys			
Kiviä >300 mm	0.00	0.00	0.00
200-300 mm	0.00	0.00	0.00
64-200 mm	0.00	0.00	0.00
Soraa 20-64 mm	0.00	0.00	0.00
Irtotiheys			
Muotoarvo			
Murtopintaluku			
Vesipitoisuus %	-	-	-
Humus:poltto, NaOH	-	-	0.29
Lietepit. (0.074mm)	0.00	0.00	0.00
Routivuus	Routiva	Routimaton	Routiva
Kantavuusluokka	F(G,E)	C	F(G,E)
Pengermat.käyttöl.			
Kapillaarisuus			
Maalajin nimi	siHkMr	kaHk	laSa



1	0.074mm läp.% 42.4
2	0.074mm läp.% 4.4
3	
4	

Päiväys	25. 1.-96	Tutki	OKSALA
---------	-----------	-------	--------

Proctor-koe

Tilaaaja
Näyte
Maalaji

HkMr02
siHkMr

Kiintotiheys
Luonnontil.vesipit.

2,672 g/cm³
9,1 %

Proctor- muotin tilavuus	948 cm ³	1	2	3	4	5
Näytteen massa	g	2529,3	2440,7	2569,5	2714,8	
Haluttu kosteus	%	4,0	6,0	8,0	10,0	
Lisättävä vesimäärä	g	101	146	206	271	
Kostea näyte + muotti	g	6240,2	6294,5	6299,5	6264,9	
Muotti	g	4175,2	4175,1	4175,0	4175,0	
Näytteen massa märkänä	g	2065	2119	2125	2090	
Kosta näyte + astia	g	3459,3	3511,1	3503,5	3476,0	
Kuiva näyte + astia	g	3384,6	3394,3	3351,8	3290,9	
Astia	g	1398,0	1394,2	1385,0	1390,6	
Näytteen massa kuivana	g	1987	2000	1967	1900	
Veden massa	g	75	117	152	185	
Vesipitoisuus märästä massasta	%	3,62	5,52	7,16	8,88	
Vesipitoisuus kuivasta massasta	%	3,76	5,84	7,71	9,74	
Proctor-näytteen massa kuivana	g	1990,2	2002,5	1972,4	1904,4	
Märkäirtotiheys	g/cm ³	2,18	2,24	2,24	2,20	
Kuivairtotiheys	g/cm ³	2,10	2,11	2,08	2,01	

Parannettu proctorkoe:

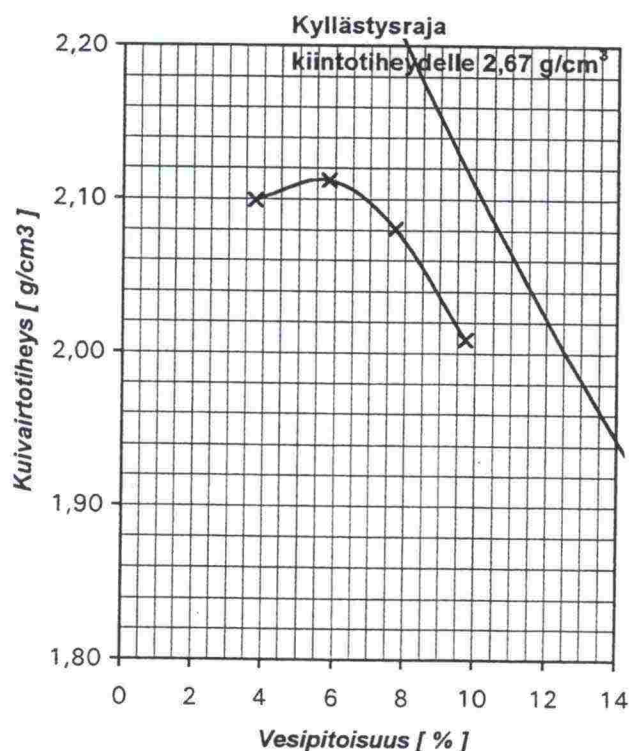
Maksimikuivairtotiheys 2,11 g/cm³
Optimivesipitoisuus 5,8 %

Kivisyys 2,86 %

Korj. maksimikuivairtotiheys 2,12 g/cm³
Korj. optimivesipitoisuus 5,6 %

Pvm 25.1.96

Tutki



INTENSIVE COMPACTION TESTER

Vedenläpäisevyyden näytteen tiivistys ICT:llä

APR 4, 1996 13:08

Näyte

HkMr02

TEST-ID 1
SAMPLE AGE 1 MIN
SAMPLE WEIGHT 1600 G
WORKING PRESS. 4.0 BAR

Sylinterin säde	mm	50
Sylinterin korkeus	mm	202
Näytteen massa	g	1600
Näytteen W-%	%	5,8
Optimiviesipit.	%	5,8
Max.kuivairtoisuus	g/cm3	2,11
Max.tilavuuspaino	kN/m3	20,70

CYCL	DENS	COM	CSLU	F	CYCL	DENS	COM	CSLU	F
05	1877			32	05	1871			31
10	1931	54	104	33	10	1926	55	89	34
20	1983	52		36	20	1977	51		36
FINALLY					FINALLY				
31	2013	30			33	2012	35		

Proctor-koe					Vedenläpäisevyyden koe						
Tiiviy- aste (%)	Näytteen kuiva		Näytteen märkä		Sylinterissä					Täysin kyllästynyt	
	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	näytettä (mm)	tyhjää (mm)	kiviain. (g)	vettä (g)	m-tiheys (g/cm3)	lisävetä (g)	vesipit. %
100	2,110	20,70	2,232	21,90	91,3	110,7	1512,3	87,7	2,232	0,0	5,8
99	2,089	20,49	2,210	21,68	92,2	109,8	1512,3	87,7	2,210	7,2	6,3
98	2,068	20,29	2,188	21,46	93,1	108,9	1512,3	87,7	2,188	14,6	6,8
97	2,047	20,08	2,165	21,24	94,1	107,9	1512,3	87,7	2,165	22,2	7,3
96	2,026	19,87	2,143	21,02	95,1	106,9	1512,3	87,7	2,143	29,9	7,8
95	2,005	19,66	2,121	20,80	96,1	105,9	1512,3	87,7	2,121	37,7	8,3
94	1,983	19,46	2,098	20,59	97,1	104,9	1512,3	87,7	2,098	45,7	8,8
93	1,962	19,25	2,076	20,37	98,1	103,9	1512,3	87,7	2,076	53,9	9,4
92	1,941	19,04	2,054	20,15	99,2	102,8	1512,3	87,7	2,054	62,3	9,9
91	1,920	18,84	2,031	19,93	100,3	101,7	1512,3	87,7	2,031	70,9	10,5
90	1,899	18,63	2,009	19,71	101,4	100,6	1512,3	87,7	2,009	79,6	11,1
89	1,878	18,42	1,987	19,49	102,5	99,5	1512,3	87,7	1,987	88,6	11,7
88	1,857	18,22	1,964	19,27	103,7	98,3	1512,3	87,7	1,964	97,7	12,3
87	1,836	18,01	1,942	19,05	104,9	97,1	1512,3	87,7	1,942	107,1	12,9
86	1,815	17,80	1,920	18,83	106,1	95,9	1512,3	87,7	1,920	116,7	13,5
85	1,794	17,59	1,898	18,61	107,4	94,6	1512,3	87,7	1,898	126,5	14,2
84	1,772	17,39	1,875	18,40	108,6	93,4	1512,3	87,7	1,875	136,5	14,8
83	1,751	17,18	1,853	18,18	109,9	92,1	1512,3	87,7	1,853	146,8	15,5
82	1,730	16,97	1,831	17,96	111,3	90,7	1512,3	87,7	1,831	157,3	16,2
81	1,709	16,77	1,808	17,74	112,7	89,3	1512,3	87,7	1,808	168,1	16,9
80	1,688	16,56	1,786	17,52	114,1	87,9	1512,3	87,7	1,786	179,2	17,6
79	1,667	16,35	1,764	17,30	115,5	86,5	1512,3	87,7	1,764	190,5	18,4
78	1,646	16,15	1,741	17,08	117,0	85,0	1512,3	87,7	1,741	202,2	19,2
77	1,625	15,94	1,719	16,86	118,5	83,5	1512,3	87,7	1,719	214,1	20,0
76	1,604	15,73	1,697	16,64	120,1	81,9	1512,3	87,7	1,697	226,3	20,8
75	1,583	15,52	1,674	16,42	121,7	80,3	1512,3	87,7	1,674	238,9	21,6
74	1,561	15,32	1,652	16,21	123,3	78,7	1512,3	87,7	1,652	251,8	22,5
73	1,540	15,11	1,630	15,99	125,0	77,0	1512,3	87,7	1,630	265,1	23,3
72	1,519	14,90	1,607	15,77	126,7	75,3	1512,3	87,7	1,607	278,7	24,2
71	1,498	14,70	1,585	15,55	128,5	73,5	1512,3	87,7	1,585	292,7	25,2
70	1,477	14,49	1,563	15,33	130,4	71,6	1512,3	87,7	1,563	307,2	26,1

Tielaitos
Geokeskus

VEDENLÄPÄISEVYYS

työnumero _____

TILAAJA	MAALAJI	siHkMr
HANKE	OPTIMI W%	5,8
NÄYTE HkMr02 - 1	MAKSIMIKUIVAIRTOTIHEYYS g/cm ³	2,11
Pvm. 10.4.96	TIIVIYASTE %	90

LUONNONTILAISET INDEKSIOMINAIUUDET		NÄYTE KOKEEN JÄLKEEN	
VESIPITOISUUS %	9,1	HALKAISIJA, mm	100,0
HUMUSPITOISUUS %	0	KORKEUS, mm	101,4
HIENOAINESPITOISUUS # 0,074 %	42,4	VESIPITOISUUS, %	11,0
NÄYTE ENNEN KOETTA		KIINTOTIHEYYS, g/cm ³	2,67
TIIVISTYSTAPA	ICT 4,0 bar, 31 kierrosta	PAINO, g	1678,0
TIIVIYASTE %	90	VEDEN MÄÄRÄ, g	165,7
VESIPITOISUUS ENNEN KOETTA, %	5,8	MÄRKÄTIHEYYS, g/cm ³	2,11
PAINO ENNEN KOETTA, g	1600,0	KUIVATIHEYYS, g/cm ³	1,90
KYLLÄSTYSASTE ENNEN KOETTA, %	38,1	TIIVIYASTE %	90,0
LÄMPÖTILA °C	20	HUOKOSLUKU	0,41
MITTASELLIN SISÄHALK. mm	30	HUOKOISUUS, %	28,9
VEDEN SUUNTA NÄYTTEESÄ	YLÖS	KYLLÄSTYSASTE, %	72,1

mittaus	sellipaine kPa	etupaine kPa	takapaine kPa	aika	menevä vesi mm	tuleva vesi mm	gradientti	kt m/s	k20°C m/s
1	220	200	180	9.4.96 10:28	162,00	3,50	19,34	3,26E-07	3,27E-07
				9.4.96 10:38	111,00	36,50			
2	220	200	180	9.4.96 10:38	111,00	36,50	19,34	3,66E-07	3,68E-07
				9.4.96 10:48	64,00	84,00			
3	220	200	180	9.4.96 10:48	64,00	84,00	19,34	3,59E-07	3,60E-07
				9.4.96 10:58	17,50	130,00			
4	220	200	180	9.4.96 11:21	152,00	10,00	19,34	2,20E-07	2,21E-07
				9.4.96 12:05	27,00	135,00			
5	220	200	188	9.4.96 12:16	176,50	15,50	11,61	1,99E-07	2,00E-07
				9.4.96 13:03	100,50	84,00			
6	220	200	180	9.4.96 13:05	99,50	92,00	19,34	2,07E-07	2,08E-07
				9.4.96 13:15	72,00	118,00			
7	220	198	182	9.4.96 13:19	72,00	104,00	15,47	1,53E-07	1,54E-07
				9.4.96 14:07	0,00	184,00			
8	220	198	182	9.4.96 14:19	150,00	18,00	15,47	1,62E-07	1,62E-07
				9.4.96 15:04	73,00	91,00			
9	220	198	182	9.4.96 15:04	73,00	91,00	15,47	9,43E-08	9,47E-08
				9.4.96 15:59	20,00	145,00			
10	220	192	188	9.4.96 16:10	161,00	11,50	3,87	6,39E-08	6,42E-08
				10.4.96 8:10	0,00	167,00			
11	220	195	185	10.4.96 8:42	154,00	5,00	9,67	1,63E-07	1,64E-07
				10.4.96 9:22	110,50	45,50			
12	220	195	185	10.4.96 9:22	110,50	45,50	9,67	1,46E-07	1,47E-07
				10.4.96 10:07	68,00	88,00			
13	220	195	185	10.4.96 10:07	68,00	88,00	9,67	1,25E-07	1,26E-07
				10.4.96 10:52	31,00	123,50			
14	220	195	185	10.4.96 10:52	31,00	123,50	9,67	8,84E-08	8,88E-08
				10.4.96 12:00	0,00	170,00			

Kokeen teki: _____ EmP

Keskiarvot

Gradientti	Vedenläpäisevyys [m/s]
19,3	3,2E-07
15,5	1,4E-07
9,7	1,3E-07

Tielaitos
Geokeskus

VEDENLÄPÄISEVYYS

työnumero _____

TILAAJA	MAALAJI	siHkMr
HANKE	OPTIMI W%	5,8
NÄYTE HkMr02 - 2	MAKSIMIKUIVAIRTOTIHEYS g/cm ³	2,11
Pvm. 10.4.96	TIIVIYASTE %	90

LUONNONTILAISET INDEKSIOMINAIUUDET				NÄYTE KOKEEN JÄLKEEN			
VESIPITOISUUS %	9,1	HALKAISIJA, mm	100,0	KORKEUS, mm	101,4	VESIPITOISUUS, %	11,6
HUMUSPITOISUUS %	0	VEPITOISUUS, g/cm ³	2,67	KIINTOTIHEYS, g/cm ³	1687,7	PAINO, g	175,4
HIENOAINESPITOISUUS # 0,074 %	42,4	VEDEEN MÄÄRÄ, g	2,12	MÄRKÄTIHEYS, g/cm ³	1,90	KUIVATIHEYS, g/cm ³	90,0
NÄYTE ENNEN KOETTA				TIIVIYASTE %	90	HUOKOSLUKU	0,41
TIIVISTYSTAPA ICT 4,0 bar, 31 kierrosta				VEEN SUUNTA NÄYTTEESÄ	YLÖS	KYLLÄSTYSASTE, %	76,1
TIIVIYASTE %	90	VEEN SUUNTA NÄYTTEESÄ	YLÖS	KYLLÄSTYSASTE, %	76,1		
VESIPITOISUUS ENNEN KOETTA, %	5,8						
PAINO ENNEN KOETTA, g	1600,0						
KYLLÄSTYSASTE ENNEN KOETTA, %	38,1						
LÄMPÖTILA °C	20						
MITTASELLIN SISÄHALK. mm	30						

mittaus	seli-paine kPa	etu-paine kPa	taka-paine kPa	aika	menevä vesi mm	tuleva vesi mm	gradientti	kt m/s	k20°C m/s
1	220	200	180	9.4.96 10:30	171,50	19,00	19,34	4,27E-07	4,28E-07
				9.4.96 10:40	116,50	74,00			
2	220	200	180	9.4.96 10:40	116,50	74,00	19,34	3,72E-07	3,74E-07
				9.4.96 10:50	68,00	121,50			
3	220	200	180	9.4.96 10:50	68,00	121,50	19,34	3,53E-07	3,54E-07
				9.4.96 11:00	23,00	167,50			
4	220	200	180	9.4.96 11:22	183,00	40,00	19,34	2,82E-07	2,83E-07
				9.4.96 12:07	4,00	188,00			
5	220	200	188	9.4.96 12:14	170,00	17,00	11,61	1,80E-07	1,80E-07
				9.4.96 13:04	100,00	86,00			
6	220	200	180	9.4.96 13:04	99,00	87,00	19,34	1,97E-07	1,98E-07
				9.4.96 13:16	69,00	118,00			
7	220	198	182	9.4.96 13:20	69,00	118,00	15,47	1,41E-07	1,42E-07
				9.4.96 14:06	4,00	187,00			
8	220	198	182	9.4.96 14:18	152,00	14,00	15,47	1,49E-07	1,49E-07
				9.4.96 15:03	82,00	82,00			
9	220	198	182	9.4.96 15:03	82,00	82,00	15,47	1,55E-07	1,56E-07
				9.4.96 15:52	4,00	161,00			
10	220	192	188	9.4.96 16:10	165,00	8,50	3,87	6,43E-08	6,46E-08
				10.4.96 8:13	5,00	168,00			
11	220	195	185	10.4.96 8:43	156,00	5,00	9,67	1,13E-07	1,14E-07
				10.4.96 9:23	123,00	30,50			
12	220	195	185	10.4.96 9:23	123,00	30,50	9,67	1,22E-07	1,23E-07
				10.4.96 10:08	87,00	65,50			
13	220	195	185	10.4.96 10:08	87,00	65,50	9,67	1,09E-07	1,09E-07
				10.4.96 10:53	55,50	97,00			
14	220	195	185	10.4.96 10:53	55,50	97,00	9,67	9,55E-08	9,59E-08
				10.4.96 12:00	14,00	138,00			

Kokeen teki: _____ EmP

Keskiarvot

Gradientti	Vedenläpäisevyys [m/s]
19,3	3,6E-07
15,5	1,5E-07
9,7	1,1E-07

IaSa03

Rakeisuuslomake

Proctorkoelomake

Vedenläpäisevyysnäytteen ICT tiivistystiedot

Vedenläpäisevyyskoelomake

Ödometrikoeilastaus (2 koetta)

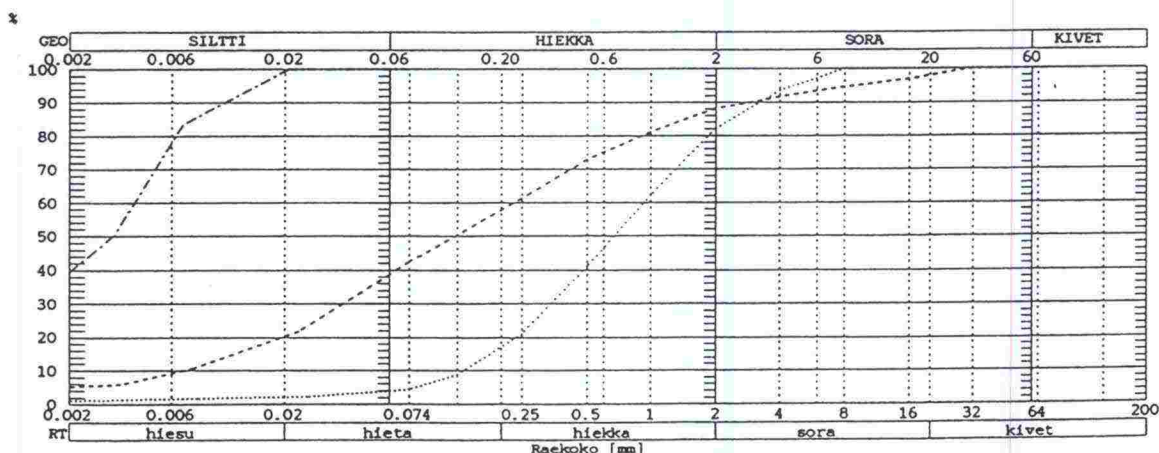
Vedenläpäisevyyskerroin-suhteellinen kokoonpuristuma kuvaaja
(2 koetta)

TIELAITOS
GEOKESKUS

LABORATORION TUTKIMUSSELOSTUS

Päivämäärä 250196
Työnumero 3340
Tiedosto 0361996.MTD

Tiepiiri			
Tien nimi/Työmaa			
Paalu/Piste			
Häiritty(NO)/Häiriintymätön(NE)	NO		
Näytteen tunnus			
Tunnus	1	2	3
Paalu			laSa03
Syvyys			
Kiviä >300 mm	0.00	0.00	0.00
200-300 mm	0.00	0.00	0.00
64-200 mm	0.00	0.00	0.00
Soraa 20-64 mm	0.00	0.00	0.00
Irtotiheys			
Muotoarvo			
Murtopintaluku			
Vesipitoisuus %	-	-	-
Humus:poltto, NaOH	-	-	0.29
Lietepit. (0.074mm)	0.00	0.00	0.00
Routivuus	Routiva	Routimaton	Routiva
Kantavuusluokka	F(G,E)	C	F(G,E)
Pengerma.käyttöl.			
Kapillaarisuus			
Maalajin nimi	siHkMr	kaHk	laSa



1	0.074mm läp.% 42.4
2	0.074mm läp.% 4.4
3	
4	

Päiväys	25. 1.-96	Tutki	OKSALA
---------	-----------	-------	--------

Proctor-koe

Tilaaja
Näyte
Maalaji

laSa03
laSa

Kiintotiheys
Luonnontil.vesipit.

2,72 g/cm³
27 %

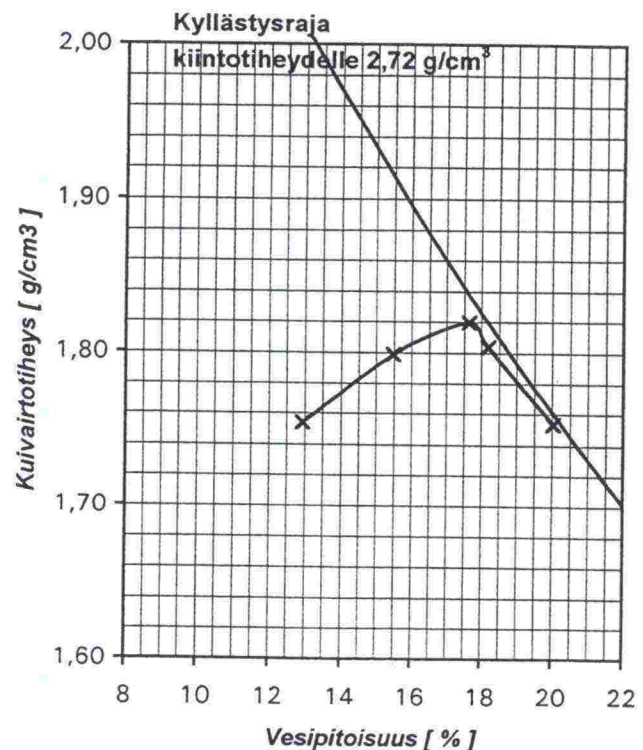
Proctor- muotin tilavuus	948 cm ³	1	2	3	4	5
Näytteen massa	g	1915	2198,7	1907,3	1774,5	1958,2
Haluttu kosteus	%	14	14,5	17,0	17,5	19,5
Lisättävä vesimäärä	g	268	319	324	311	382
Kostea näyte + muotti	g	6052,8	6144,6	6204,2	6196,4	6170,0
Muotti	g	4175	4175,2	4174,6	4175,2	4175,0
Näytteen massa märkänä	g	1878	1969	2030	2021	1995
Kosta näyte + astia	g	3265,7	3349,9	3388,4	3341,7	3380,9
Kuiva näyte + astia	g	3051,6	3087,5	3087,9	3041,3	3048,7
Astia	g	1399,1	1392,9	1384,8	1390,0	1390,7
Näytteen massa kuivana	g	1653	1695	1703	1651	1658
Veden massa	g	214	262	301	300	332
Vesipitoisuus määstä massasta	%	11,47	13,41	15,00	15,39	16,69
Vesipitoisuus kuivasta massasta	%	12,96	15,48	17,64	18,19	20,04
Proctor-näytteen massa kuivana	g	1662,4	1705,3	1725,2	1710,1	1662,0
Märkäirttiheys	g/cm ³	1,98	2,08	2,14	2,13	2,10
Kuivairttiheys	g/cm ³	1,75	1,80	1,82	1,80	1,75

Parannettu proctorkoe:

Maksimikuivairttiheys 1,82 g/cm³
Optimivesipitoisuus 17,6 %

Pvm 12.2.1996

Tutki



INTENSIVE COMPACTION TESTER

APR 12, 1996 11:43

TEST-ID 2
SAMPLE AGE 18 MIN
SAMPLE WEIGHT 1550 G
WORKING PRESS. 6.5 BAR

Vedenläpäisevyyšnäytteen tiivistys ICT:llä

Näyte **laSa03**

Sylinterin säde	mm	50
Sylinterin korkeus	mm	202
Näytteen massa	g	1550
Näytteen W-%	%	19,7
Optimivesipit.	%	17,6
Max.kuivavirttihey	g/cm3	1,82
Max.tilavuuspaino	kN/m3	17,85

CYCL	DENS	COM	CSLU	F
05	1839			47
10	1845	6	0	48
20	1856	11	0	48
40	1870	14		49
81	1886	16		49
161	1898	12	XXX	48
323	1931	33	XXX	52

FINALLY
400 1935 4

Proctor-koe					Vedenläpäisevyysskoe						
Tiiviys- aste (%)	Näytteen kuiva		Näytteen märkä		Sylinterissä					Täysin kyllästytynenä	
	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	näytettä (mm)	tyhjää (mm)	kiviain. (g)	vettä (g)	m-tiheys (g/cm3)	lisävetä (g)	vesipit. %
100	1,820	17,85	2,140	21,00	90,6	111,4	1294,9	255,1	2,179	0,0	19,7
99	1,802	17,68	2,119	20,79	91,5	110,5	1294,9	255,1	2,157	7,2	20,3
98	1,784	17,50	2,098	20,58	92,4	109,6	1294,9	255,1	2,135	14,5	20,8
97	1,765	17,32	2,076	20,37	93,4	108,6	1294,9	255,1	2,113	22,0	21,4
96	1,747	17,14	2,055	20,16	94,4	107,6	1294,9	255,1	2,091	29,6	22,0
95	1,729	16,96	2,033	19,95	95,4	106,6	1294,9	255,1	2,070	37,4	22,6
94	1,711	16,78	2,012	19,74	96,4	105,6	1294,9	255,1	2,048	45,4	23,2
93	1,693	16,60	1,990	19,53	97,4	104,6	1294,9	255,1	2,026	53,6	23,8
92	1,674	16,43	1,969	19,32	98,5	103,5	1294,9	255,1	2,004	61,9	24,5
91	1,656	16,25	1,948	19,11	99,5	102,5	1294,9	255,1	1,982	70,4	25,1
90	1,638	16,07	1,926	18,90	100,7	101,3	1294,9	255,1	1,961	79,1	25,8
89	1,620	15,89	1,905	18,69	101,8	100,2	1294,9	255,1	1,939	87,9	26,5
88	1,602	15,71	1,883	18,48	102,9	99,1	1294,9	255,1	1,917	97,0	27,2
87	1,583	15,53	1,862	18,27	104,1	97,9	1294,9	255,1	1,895	106,3	27,9
86	1,565	15,35	1,841	18,06	105,3	96,7	1294,9	255,1	1,874	115,8	28,6
85	1,547	15,18	1,819	17,85	106,6	95,4	1294,9	255,1	1,852	125,6	29,4
84	1,529	15,00	1,798	17,64	107,8	94,2	1294,9	255,1	1,830	135,5	30,2
83	1,511	14,82	1,776	17,43	109,1	92,9	1294,9	255,1	1,808	145,7	31,0
82	1,492	14,64	1,755	17,22	110,5	91,5	1294,9	255,1	1,786	156,2	31,8
81	1,474	14,46	1,734	17,01	111,8	90,2	1294,9	255,1	1,765	166,9	32,6
80	1,456	14,28	1,712	16,80	113,2	88,8	1294,9	255,1	1,743	177,9	33,4
79	1,438	14,10	1,691	16,59	114,7	87,3	1294,9	255,1	1,721	189,1	34,3
78	1,420	13,93	1,669	16,38	116,1	85,9	1294,9	255,1	1,699	200,7	35,2
77	1,401	13,75	1,648	16,17	117,6	84,4	1294,9	255,1	1,677	212,5	36,1
76	1,383	13,57	1,627	15,96	119,2	82,8	1294,9	255,1	1,656	224,7	37,1
75	1,365	13,39	1,605	15,75	120,8	81,2	1294,9	255,1	1,634	237,2	38,0
74	1,347	13,21	1,584	15,54	122,4	79,6	1294,9	255,1	1,612	250,0	39,0
73	1,329	13,03	1,562	15,33	124,1	77,9	1294,9	255,1	1,590	263,2	40,0
72	1,310	12,86	1,541	15,12	125,8	76,2	1294,9	255,1	1,569	276,7	41,1
71	1,292	12,68	1,520	14,91	127,6	74,4	1294,9	255,1	1,547	290,6	42,1
70	1,274	12,50	1,498	14,70	129,4	72,6	1294,9	255,1	1,525	304,9	43,2

Tielaitos
Geokeskus

VEDENLÄPÄISEVYYS

työnumero _____

TILAAJA	MAALAJI	laSa
HANKE	OPTIMI W%	17,6
NÄYTE	laSa03	MAKSIMIKUVAIRTOTIHEYYS g/cm ³
Pvm.	16.4.96	TIIVYSASTE %
		90

LUONNONTILAISET INDEKSIOMINAIUUDET		NÄYTE KOKEEN JÄLKEEN	
VESIPITOISUUS %	27,0	HALKAISIJA, mm	100,0
HUMUSPITOISUUS %	0,29	KORKEUS, mm	100,7
HIENOAINESPITOISUUS # 0,074 %	100	VESIPITOISUUS, %	26,6
NÄYTE ENNEN KOETTA		KIINTOTIHEYYS, g/cm ³	2,72
TIIVISTYSTAPA	ICT 6,5 bar, 400 kierrosta	PAINO, g	1639,3
TIIVYSASTE %	90	VEDEN MÄÄRÄ, g	344,4
VESIPITOISUUS ENNEN KOETTA, %	19,7	MÄRKÄTIHEYYS, g/cm ³	2,07
PAINO ENNEN KOETTA, g	1550,0	KUIVATIHEYYS, g/cm ³	1,64
KYLLÄSTYSASTE ENNEN KOETTA, %	81,0	TIIVYSASTE %	90,0
LÄMPÖTILA °C	20	HUOKOSLUKU	0,66
MITTASELLIN SISÄHALK. mm	30	HUOKOISUUS, %	39,8
VEDEN SUUNTA NÄYTTEESÄ	YLÖS	KYLLÄSTYSASTE, %	109,4

mittaus	sellipaine kPa	etupaine kPa	takapaine kPa	aika	menevä vesi mm	tuleva vesi mm	gradientti	kt m/s	k20°C m/s
1	220	200	170	16.4.96 9:13	166,50	12,50	29,22	3,50E-09	3,52E-09
				16.4.96 9:46	164,50	15,00			
2	220	200	170	16.4.96 9:46	164,50	15,00	29,22	2,47E-09	2,48E-09
				16.4.96 16:21	144,50	33,00			
3	220	200	170	16.4.96 16:21	144,50	33,00	29,22	2,67E-09	2,69E-09
				17.4.96 8:16	93,50	81,50			
4	220	200	170	17.4.96 8:16	93,50	81,50	29,22	2,42E-09	2,43E-09
				17.4.96 11:59	83,00	92,00			
5	220	200	170	17.4.96 11:59	83,00	92,00	29,22	2,67E-09	2,69E-09
				17.4.96 13:59	76,50	98,00			
6	220	200	170	17.4.96 13:59	76,50	98,00	29,22	2,45E-09	2,46E-09
				18.4.96 8:23	22,50	149,50			
7	220	200	170	18.4.96 8:23	22,50	149,50	29,22	2,29E-09	2,30E-09
				18.4.96 11:11	15,00	157,00			
8	220	200	170	18.4.96 11:22	157,00	18,00	29,22	2,43E-09	2,44E-09
				18.4.96 15:41	143,50	29,00			
9	220	200	170	18.4.96 15:41	143,50	29,00	29,22	2,49E-09	2,50E-09
				19.4.96 8:28	93,50	76,50			
10	220	200	170	19.4.96 8:28	93,50	76,50	29,22	2,44E-09	2,46E-09
				19.4.96 11:58	83,50	86,50			
11	220	200	170	19.4.96 11:58	83,50	86,50	29,22	2,40E-09	2,41E-09
				19.4.96 15:00	74,50	94,50			
12	220	200	170	22.4.96 12:03	74,50	94,50	29,22	2,09E-09	2,10E-09
				23.4.96 8:37	20,50	141,00			
13	220	200	170	23.4.96 8:37	20,50	141,00	29,22	2,01E-09	2,02E-09
				23.4.96 11:23	14,50	148,00			
14	220	200	170	23.4.96 11:23	14,50	148,00	29,22	2,02E-09	2,03E-09
				23.4.96 16:09	3,00	159,00			

Kokeen teki: _____ EmP

Keskiarvot

Gradientti	Vedenläpäisevyys [m/s]
29,2	2,5E-09

Vedenläpäisevyyden määrittäminen CRS-ödometrikokeella laSa03 Häiritty näyte

TIELAITOS	Työnumero 4092	Tiedosto VED_1.DA2	$\beta = 0,224$
GEOPALVELUT	Tilaaaja	Koetyyppi CRS-koe	$m = 24,6$
OPASTINSILTA 12	Tiennumero	Nopeus ,0025 mm/min	$C = -0,066$
PL 33, 00521 HKI	Tieosa	Kesto 17,4 h	$A = 0,181$
PUH (90) 148 721	Paalu	Palautus - h	$\beta_2 = -$
	Piste	Pal,kuorma 0,0 kPa	$m_2 = -$ (-- +pal.
	Maanpinta	Palautuma 0,0 mm	$C_2 = -$
	Syvyys	Näytekok. 20,0 cm2	$A_2 = -$
	Koepvm 3.4.96	Nätekork. 15,0 mm	Konsolid.jänn. ---- k
	Koeselli 1		
		Sigma0 0,0 kPa	

t [s]	σ [kPa]	Hvp [kPa]	ε [%]	σ' [kPa]	Nopeus [mm/min]	M [MPa]	k [m/s]
893	0,3	0	0,24	--	--	--	--
1793	0,7	0	0,49	--	--	--	--
2693	0,9	0,1	0,74	--	--	--	--
3593	1,3	0,1	0,99	--	--	--	--
4493	1,6	0,1	1,24	--	--	--	--
5393	2,1	0,1	1,48	--	--	--	--
6293	2,4	0,1	1,73	--	--	--	--
7193	2,9	0,1	1,98	--	--	--	--
8093	3,5	0,2	2,23	--	--	--	--
8993	4,1	0,2	2,48	--	--	--	--
9893	4,7	0,2	2,72	--	--	--	--
10793	5,4	0,2	2,97	--	--	--	--
11693	6,1	0,2	3,22	--	--	--	--
12593	6,9	0,2	3,46	--	--	--	--
13493	7,8	0,4	3,71	7,5	0,0024	0,3828	6,30E-09
14393	8,9	0,4	3,95	8,6	0,0024	0,4091	6,89E-09
15293	10	0,4	4,2	9,7	0,0024	0,4328	6,25E-09
16193	11,1	0,3	4,45	10,8	0,0024	0,4575	7,63E-09
17093	12,2	0,5	4,69	11,8	0,0024	0,4888	5,26E-09
17993	13,3	0,4	4,93	13	0,0024	0,5283	6,80E-09
18893	14,7	0,5	5,18	14,4	0,0024	0,5698	5,21E-09
19793	16,3	0,5	5,42	16	0,0024	0,6083	5,63E-09
20693	17,9	0,5	5,67	17,5	0,0024	0,6447	4,79E-09
21593	19,4	0,5	5,91	19,1	0,0024	0,6727	4,77E-09
22493	21	0,6	6,15	20,6	0,0024	0,712	4,15E-09
23393	23	0,7	6,39	22,4	0,0024	0,7754	3,68E-09
24293	24,8	0,7	6,63	24,2	0,0024	0,8315	3,48E-09
25193	26,9	0,7	6,88	26,4	0,0024	0,8883	3,47E-09
26093	29,4	0,7	7,12	28,8	0,0024	0,9295	3,45E-09
26993	31,4	0,7	7,36	31	0,0023	0,9857	3,84E-09
27893	33,8	0,7	7,6	33,3	0,0023	1,0351	3,60E-09
28793	36,3	0,8	7,83	35,7	0,0023	1,0882	3,23E-09
29693	39,2	0,8	8,07	38,6	0,0023	1,1592	3,05E-09
30593	42	0,7	8,31	41,4	0,0023	1,2192	3,36E-09
31493	45	0,9	8,55	44,3	0,0023	1,2772	2,76E-09
32393	48,1	1	8,78	47,5	0,0023	1,3376	2,63E-09
33293	51,3	1	9,02	50,6	0,0023	1,4191	2,61E-09

34193	54,5	0,9	9,25	53,9	0,0023	1,5166	2,72E-09
35093	58,3	1	9,49	57,6	0,0023	1,5735	2,59E-09
35993	62,4	1,2	9,72	61,6	0,0023	1,6475	2,06E-09
36893	66,5	1	9,96	65,8	0,0023	1,7369	2,36E-09
37793	69,9	1,1	10,19	69,1	0,0023	1,8186	2,18E-09
38693	74,4	1,2	10,42	73,6	0,0023	1,8903	2,02E-09
39593	79,2	1,2	10,65	78,4	0,0022	1,9913	1,94E-09
40493	84	1,2	10,88	83,1	0,0022	2,0899	2,00E-09
41393	88,6	1,3	11,11	87,6	0,0022	2,1672	1,80E-09
42293	93,9	1,3	11,33	93	0,0022	2,2465	1,79E-09
43193	98,7	1,4	11,56	97,8	0,0022	2,3811	1,68E-09
44093	104,5	1,5	11,79	103,5	0,0022	2,5265	1,58E-09
44993	110,1	1,6	12,01	109	0,0022	2,6625	1,49E-09
45893	116,7	1,5	12,24	115,6	0,0022	2,7915	1,51E-09
46793	122,9	1,5	12,46	121,9	0,0022	2,8985	1,54E-09
47693	129,7	1,6	12,68	128,6	0,0022	3,0316	1,41E-09
48593	136	1,7	12,9	134,9	0,0021	3,159	1,33E-09
49493	143,2	1,8	13,12	141,9	0,0021	3,3215	1,24E-09
50393	150,8	1,9	13,33	149,5	0,0021	3,4741	1,17E-09
51293	158,7	1,9	13,55	157,3	0,0021	3,6671	1,16E-09
52193	166,8	1,9	13,77	165,5	0,0021	3,8429	1,15E-09
53093	174,6	1,9	13,98	173,3	0,0021	3,9961	1,14E-09
53993	183,7	2	14,19	182,3	0,0021	4,1969	1,06E-09
54893	192,8	2	14,4	191,4	0,002	4,4336	1,05E-09
55793	201,9	2,1	14,61	200,4	0,002	4,6309	1,00E-09
56693	212	2,2	14,82	210,6	0,002	4,8429	9,73E-10
57593	222,7	2,2	15,02	221,2	0,002	5,0892	9,43E-10
58493	232,4	2,2	15,23	230,9	—	—	—
59393	243,8	2,2	15,43	242,3	—	—	—
60293	255,3	2,4	15,62	253,6	—	—	—

laSa03

Häiritty näyte

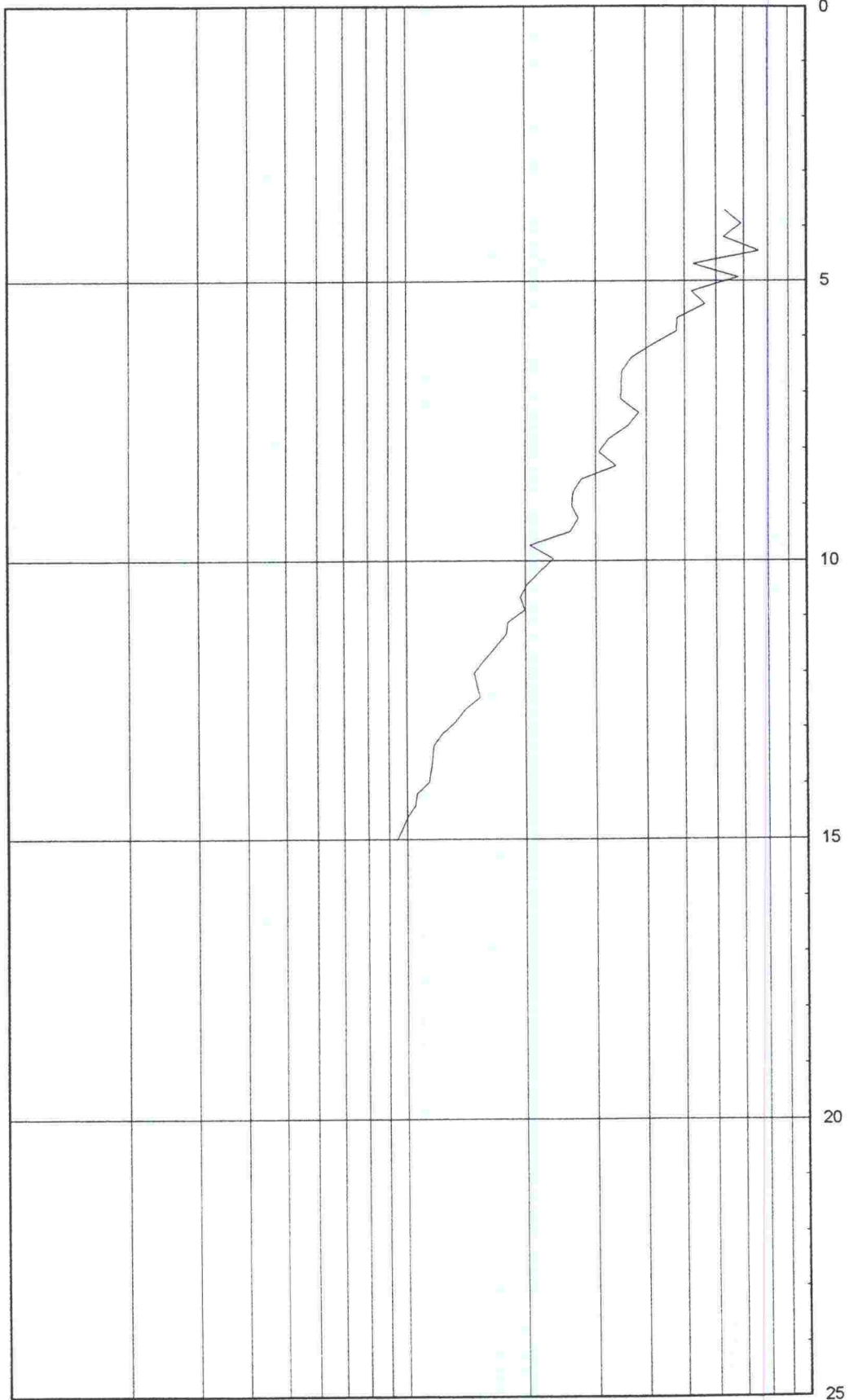
Vedenläpäisevyyskerroin k [m/s]

1,0E-10

1,0E-09

1,0E-08

Suhteellinen kokoonpuristuma [%]



Vedenläpäisevyyden määrittäys CRS-ödometrikokeella laSa03

Häiritty näyte

TIELAITOS
GEOPALVELUT
OPASTINSILTA 12
PL 33, 00521 HKI
PUH (90) 148 721

Työnumero 4092
Tilaaaja
Tiennumero
Tieosa
Paalu
Piste
Maanpinta
Syvyys
Koepvm 3.4.96
Koeselli 2

Tiedosto VED_2.DA2
Koetyyppi CRS-koe
Nopeus ,0025 mm/min
Kesto 17,9 h
Palautus - h
Pal,kuorma 0,0 kPa
Palautuma 0,0 mm

Näytekokko 20,0 cm2
Näytekor. 15,0 mm

Sigma0 0,0 kPa

$\beta = 0,239$
 $m = 24,1$
 $C = -0,056$
 $A = 0,174$
 $\beta_2 = -$
 $m_2 = -$ (- +pal.
 $C_2 = -$
 $A_2 = -$
Konsolid.jänn. ---- k

t [s]	σ [kPa]	Hvp [kPa]	ε [%]	σ' [kPa]	Nopeus [mm/min]	M [MPa]	k [m/s]
897	0,3	0	0,25	—	—	—	—
1797	0,7	0	0,5	—	—	—	—
2697	1,3	0,2	0,75	—	—	—	—
3597	2	0,4	0,99	—	—	—	—
4497	2,3	0,5	1,24	—	—	—	—
5389	1,8	0,5	1,48	—	—	—	—
6289	1,9	0,6	1,73	—	—	—	—
7189	3	0,5	1,98	—	—	—	—
8089	3,7	0,4	2,23	—	—	—	—
8989	3,8	0,3	2,48	—	—	—	—
9889	4,7	0,3	2,73	—	—	—	—
10789	5,6	0,4	2,97	—	—	—	—
11689	6,4	0,5	3,22	—	—	—	—
12589	6,9	0,4	3,47	—	—	—	—
13489	7,3	0,5	3,71	7	0,0024	0,3045	5,35E-09
14389	8,3	0,5	3,96	7,9	0,0024	0,3518	5,34E-09
15289	9,3	0,6	4,2	8,9	0,0024	0,4038	4,61E-09
16189	10,4	0,5	4,45	10	0,0024	0,4476	4,93E-09
17089	11,6	0,5	4,7	11,2	0,0024	0,4742	4,92E-09
17989	12,8	0,6	4,94	12,3	0,0024	0,5193	4,28E-09
18889	14	0,6	5,19	13,5	0,0024	0,565	4,26E-09
19789	15,3	0,6	5,43	14,9	0,0024	0,6073	4,53E-09
20689	17,1	0,7	5,67	16,7	0,0024	0,6469	3,98E-09
21589	18,8	0,7	5,92	18,4	0,0024	0,6781	3,96E-09
22489	20,4	0,6	6,16	20	0,0024	0,717	4,19E-09
23389	22,1	0,7	6,4	21,6	0,0024	0,7428	3,92E-09
24289	23,9	0,8	6,64	23,4	0,0024	0,7938	3,32E-09
25189	26,1	0,7	6,89	25,6	0,0024	0,839	3,67E-09
26089	28	0,7	7,13	27,5	0,0024	0,891	3,47E-09
26989	30,5	0,7	7,37	29,9	0,0024	0,9473	3,45E-09
27889	32,5	0,8	7,61	32	0,0024	0,9799	3,26E-09
28789	35,1	0,8	7,85	34,5	0,0023	1,0317	3,25E-09
29689	37,8	0,9	8,09	37,2	0,0023	1,0866	2,94E-09
30589	40,1	0,8	8,33	39,6	0,0023	1,1426	3,06E-09
31489	43	0,9	8,57	42,4	0,0023	1,1974	2,78E-09
32389	46,2	0,9	8,8	45,5	0,0023	1,2704	2,65E-09
33289	49	0,9	9,04	48,3	0,0023	1,358	2,64E-09

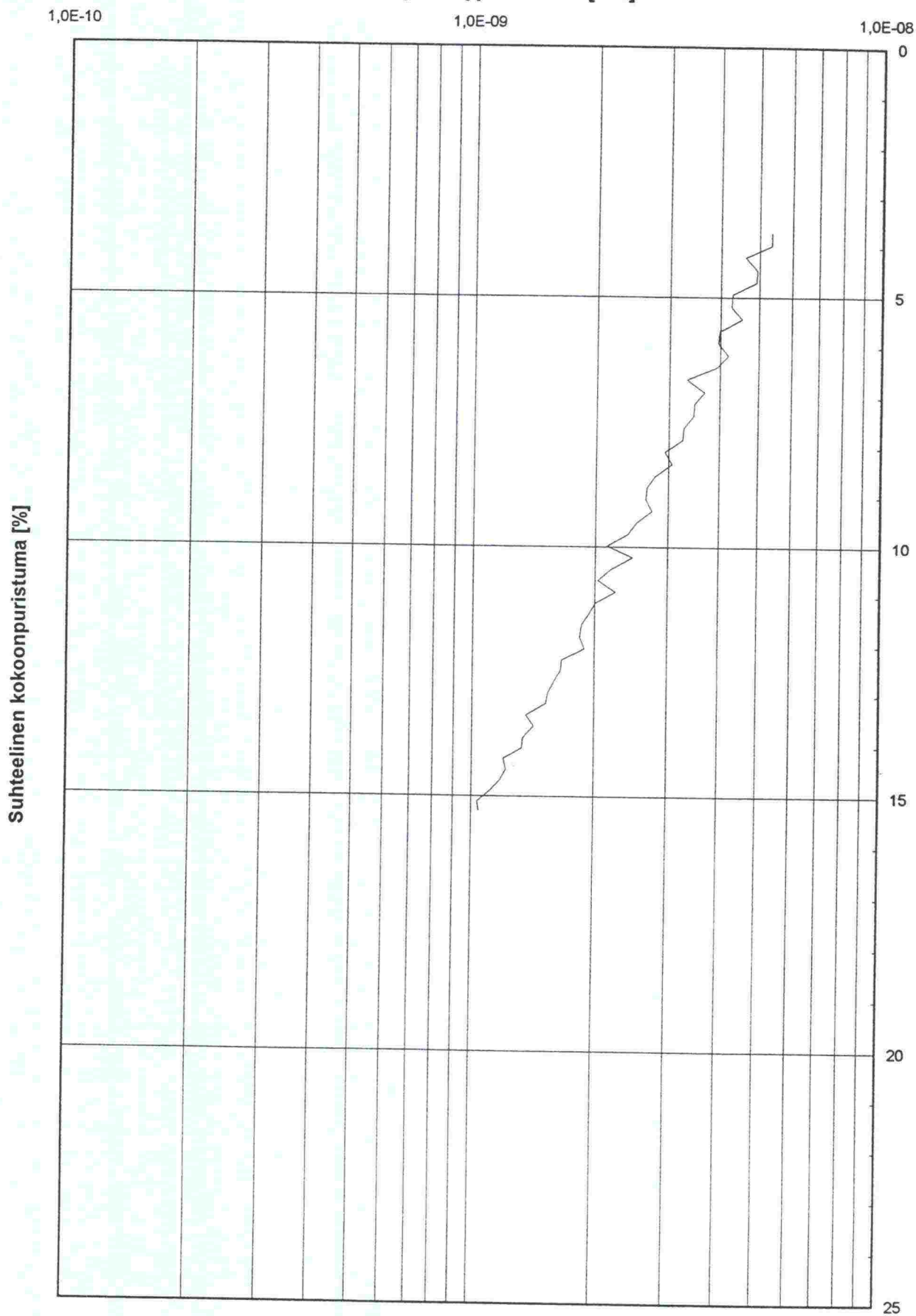
10 Teiden pohjavesisuojausissa käytettävien maatiivisteiden vedenläpäisevyyden määrittäminen
LIITE 7

34189	52,4	0,9	9,28	51,7	0,0023	1,4144	2,74E-09
35089	56	1	9,51	55,3	0,0023	1,4796	2,51E-09
35989	59,6	1	9,75	58,9	0,0023	1,5565	2,40E-09
36889	63,1	1,2	9,98	62,3	0,0023	1,6179	2,13E-09
37789	67	1	10,22	66,3	0,0023	1,6946	2,46E-09
38689	71,1	1,1	10,45	70,3	0,0023	1,7794	2,19E-09
39589	75,4	1,2	10,68	74,5	0,0023	1,8969	2,03E-09
40489	79,8	1,1	10,91	79,1	0,0023	1,9908	2,24E-09
41389	84,4	1,2	11,14	83,6	0,0023	2,0809	2,01E-09
42289	89,8	1,2	11,37	88,9	0,0022	2,1894	1,93E-09
43189	94,7	1,3	11,6	93,8	0,0022	2,2707	1,85E-09
44089	99,8	1,3	11,83	98,9	0,0022	2,3939	1,84E-09
44989	105,6	1,2	12,06	104,7	0,0022	2,506	1,89E-09
45889	110,9	1,4	12,28	110	0,0022	2,6497	1,66E-09
46789	117,6	1,4	12,5	116,6	0,0022	2,7651	1,65E-09
47689	123,9	1,4	12,73	122,9	0,0022	2,9047	1,59E-09
48589	130,5	1,5	12,95	129,5	0,0022	3,0258	1,54E-09
49489	137	1,5	13,17	135,9	0,0022	3,1205	1,52E-09
50389	144,7	1,7	13,39	143,6	0,0021	3,2804	1,36E-09
51289	151,3	1,6	13,61	150,3	0,0021	3,4376	1,42E-09
52189	159	1,7	13,83	157,8	0,0021	3,626	1,34E-09
53089	167,4	1,7	14,04	166,3	0,0021	3,7887	1,33E-09
53983	175,5	1,8	14,25	174,3	0,0021	3,9859	1,20E-09
54881	184,5	1,8	14,47	183,3	0,0021	4,1761	1,22E-09
55781	193,5	1,8	14,68	192,2	0,0021	4,3404	1,18E-09
56681	202,5	1,9	14,89	201,2	0,002	4,544	1,12E-09
57575	212,7	2	15,1	211,3	0,002	4,7436	1,04E-09
58473	222,3	2	15,3	220,9	0,002	4,9919	1,05E-09
59373	232,9	2,1	15,51	231,5	—	—	—
60273	243,8	2,2	15,72	242,3	—	—	—
61173	255,4	2,2	15,92	253,9	—	—	—

laSa03

Häiritty näyte

Vedenläpäisevyysskerroin k [m/s]



HkB01

Rakeisuuslomake (runkoaines)

Proctorkoelomake

Vedenläpäisevyysnäytteen ICT tiivistystiedot

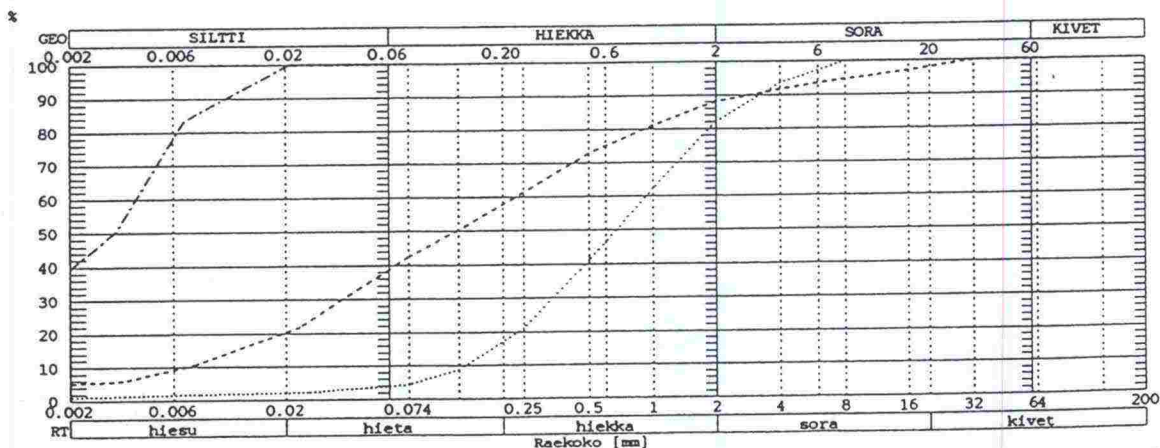
Vedenläpäisevyyskoelomake

TIELAITOS
GEOKESKUS

LABORATORION TUTKIMUSSELOSTUS

Päivämäärä 250196
Työnumero 3340
Tiedosto 0361996.MTD

Tiepiiri			
Tien nimi/Työmaa			
Paalu/Piste			
Häiritty(NO)/Häiriintymätön(NE)	NO		
Näytteen tunnus			
Tunnus	1	2	3
Paalu		HKB01	
Syvyys		(RUNKOAINES)	
Kiviä >300 mm	0.00	0.00	0.00
200-300 mm	0.00	0.00	0.00
64-200 mm	0.00	0.00	0.00
Soraa 20-64 mm	0.00	0.00	0.00
Irtotiheys			
Muotoarvo			
Murtopintaluku			
Vesipitoisuus %	-	-	-
Humus:poltto, NaOH	-	-	0.29
Lietepit. (0.074mm)	0.00	0.00	0.00
Routivuus	Routiva	Routimaton	Routiva
Kantavuusluokka	F(G,E)	C	F(G,E)
Pengermat.käyttöl.			
Kapillaarisuus			
Maalajin nimi	siHkMr	kaHk	laSa



1	0.074mm läp.% 42.4
2	0.074mm läp.% 4.4
3	
4	

Päiväys	25. 1.-96	Tutki	OKSALA
---------	-----------	-------	--------

Proctor-koe

Tilaaja
Näyte
Maalaji

HkB01
kaHk + 8 % bentoniittia

Kiintotiheys
Luonnontil.vesipit.

2,65 g/cm³
4 %

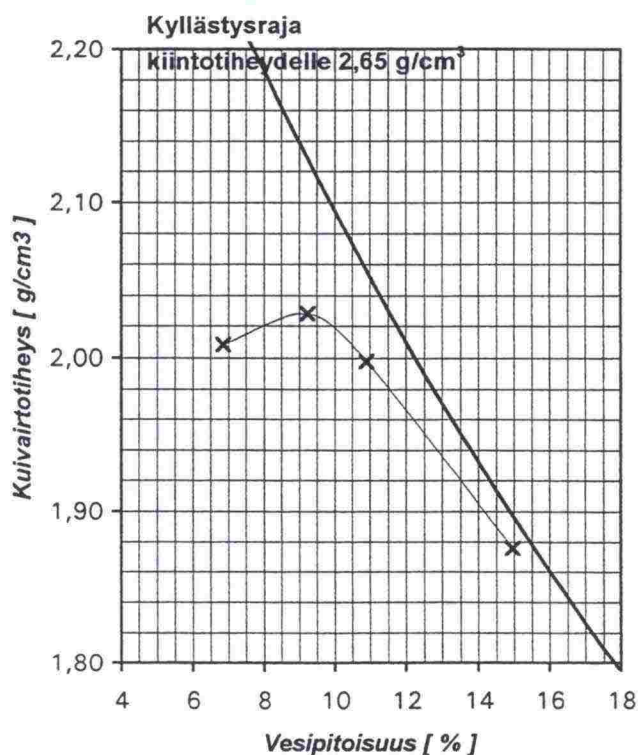
(arvio)
(hiekkä)

Proctor- muotin tilavuus	948 cm ³	1	2	3	4	5
Näytteen massa	g	2408,2	2582,5	2394,0	2395,2	
Haluttu kosteus	%	6,0	8,0	10,0	14,0	
Lisättävä vesimäärä	g	144	207	239	335	
Kostea näyte + muotti	g	6209,4	6275,6	6275,1	6219,0	
Muotti	g	4174,8	4175,0	4174,8	4174,8	
Näytteen massa märkänä	g	2034,6	2100,6	2100,3	2044,2	
Kosta näyte + astia	g	3421,0	3488,7	3493,9	3428,3	
Kuiva näyte + astia	g	3290,7	3311,2	3288,1	3163,0	
Astia	g	1390,0	1391,1	1398,9	1390,5	
Näytteen massa kuivana	g	1900,7	1920,1	1889,2	1772,5	
Veden massa	g	130,3	177,5	205,8	265,3	
Vesipitoisuus määstä massasta	%	6,42	8,46	9,82	13,02	
Vesipitoisuus kuivasta massasta	%	6,86	9,24	10,89	14,97	
Proctor-näytteen massa kuivana	g	1904,1	1922,8	1894,0	1778,1	
Märkäirtotiheys	g/cm ³	2,15	2,22	2,22	2,16	
Kuivairtotiheys	g/cm ³	2,01	2,03	2,00	1,88	

Parannettu proctorkoe:

Maksimikuivairtotiheys 2,03 g/cm³
Optimivesipitoisuus 9,2 %

Pvm 14.3.1996
Tutki



Vedenläpäisevyyšnäytteen tiivistys ICT:llä

Näyte **HkB01**

Sylinterin säde	mm	50
Sylinterin korkeus	mm	202
Näytteen massa	g	1600
Näytteen W-%	%	9,2
Optimivesipit.	%	9,2
Max.kuivairtitihey	g/cm3	2,03
Max.tilavuuspaino	kN/m3	19,91

INTENSIVE COMPACTION TESTER

APR 12, 1996 18:02

TEST-ID 3
SAMPLE AGE 1 MIN
SAMPLE WEIGHT 1600 G
WORKING PRESS. 4.0 BAR

CYCL	DENS	COM	CSLU	F
05	1849			27
10	1921	72	126	30
20	1987	66		33

FINALLY
23 2000 13

Proctor-koe					Vedenläpäisevyysskoe						Täysin	
Tiiviys-aste (%)	Näytteen kuiva		Näytteen märkä		Sylinterissä					kyllästyneenä		
	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	tiheys (g/cm3)	til.paino (kN/m3)	näytettä (mm)	tyhjää (mm)	kiviain. (g)	vettä (g)	m-tiheys (g/cm3)	lisävettä (g)	vesipit. %	
100	2,030	19,91	2,217	21,75	91,9	110,1	1465,2	134,8	2,217	0,0	9,2	
99	2,010	19,72	2,195	21,53	92,8	109,2	1465,2	134,8	2,195	7,3	9,7	
98	1,989	19,52	2,172	21,31	93,8	108,2	1465,2	134,8	2,172	14,7	10,2	
97	1,969	19,32	2,150	21,09	94,7	107,3	1465,2	134,8	2,150	22,3	10,7	
96	1,949	19,12	2,128	20,88	95,7	106,3	1465,2	134,8	2,128	30,1	11,3	
95	1,929	18,92	2,106	20,66	96,7	105,3	1465,2	134,8	2,106	38,0	11,8	
94	1,908	18,72	2,084	20,44	97,8	104,2	1465,2	134,8	2,084	46,1	12,3	
93	1,888	18,52	2,062	20,22	98,8	103,2	1465,2	134,8	2,062	54,3	12,9	
92	1,868	18,32	2,039	20,01	99,9	102,1	1465,2	134,8	2,039	62,8	13,5	
91	1,847	18,12	2,017	19,79	101,0	101,0	1465,2	134,8	2,017	71,4	14,1	
90	1,827	17,92	1,995	19,57	102,1	99,9	1465,2	134,8	1,995	80,2	14,7	
89	1,807	17,72	1,973	19,35	103,3	98,7	1465,2	134,8	1,973	89,2	15,3	
88	1,786	17,52	1,951	19,14	104,4	97,6	1465,2	134,8	1,951	98,4	15,9	
87	1,766	17,33	1,929	18,92	105,6	96,4	1465,2	134,8	1,929	107,9	16,6	
86	1,746	17,13	1,906	18,70	106,9	95,1	1465,2	134,8	1,906	117,5	17,2	
85	1,726	16,93	1,884	18,48	108,1	93,9	1465,2	134,8	1,884	127,4	17,9	
84	1,705	16,73	1,862	18,27	109,4	92,6	1465,2	134,8	1,862	137,5	18,6	
83	1,685	16,53	1,840	18,05	110,7	91,3	1465,2	134,8	1,840	147,8	19,3	
82	1,665	16,33	1,818	17,83	112,1	89,9	1465,2	134,8	1,818	158,4	20,0	
81	1,644	16,13	1,796	17,61	113,5	88,5	1465,2	134,8	1,796	169,3	20,8	
80	1,624	15,93	1,773	17,40	114,9	87,1	1465,2	134,8	1,773	180,4	21,5	
79	1,604	15,73	1,751	17,18	116,3	85,7	1465,2	134,8	1,751	191,9	22,3	
78	1,583	15,53	1,729	16,96	117,8	84,2	1465,2	134,8	1,729	203,6	23,1	
77	1,563	15,33	1,707	16,74	119,3	82,7	1465,2	134,8	1,707	215,6	23,9	
76	1,543	15,13	1,685	16,53	120,9	81,1	1465,2	134,8	1,685	227,9	24,8	
75	1,523	14,94	1,663	16,31	122,5	79,5	1465,2	134,8	1,663	240,6	25,6	
74	1,502	14,74	1,640	16,09	124,2	77,8	1465,2	134,8	1,640	253,6	26,5	
73	1,482	14,54	1,618	15,87	125,9	76,1	1465,2	134,8	1,618	267,0	27,4	
72	1,462	14,34	1,596	15,66	127,6	74,4	1465,2	134,8	1,596	280,7	28,4	
71	1,441	14,14	1,574	15,44	129,4	72,6	1465,2	134,8	1,574	294,8	29,3	
70	1,421	13,94	1,552	15,22	131,3	70,7	1465,2	134,8	1,552	309,3	30,3	

Tielaitos
Geokeskus

VEDENLÄPÄISEVYYS

työnumero _____

TILAAJA	MAALAJI
HANKE	OPTIMI W% 9,2
NÄYTE HkB01 kaHk + 8 % bent.	MAKSIMIKUIVAIRTOTIHEYYS g/cm ³ 2,03
Pvm. 16.4.96	TIIVIYSASTE % kokeen alussa 90

LUONNONTILAISET INDEKSIOMINAISSUUDET		NÄYTE KOKEEN JÄLKEEN	
VESIPITOISUUS % (kaHk)	4,0	HALKAISIJA, mm	100,0
HUMUSPITOISUUS %	0	KORKEUS, mm	102,1
HIENOAINESPIITOISUUS # 0,074 %	4,4 (+ 8% bent.)	VESIPITOISUUS, %	15,3
NÄYTE ENNEN KOETTA		KIINTOTIHEYYS, g/cm ³	2,65
TIIVISTYSTAPA ICT 4,0 bar, 23 kierrosta		PAINO, g	1422,0
TIIVIYSASTE %	90	VEDEN MÄÄRÄ, g	188,7
VESIPITOISUUS ENNEN KOETTA, %	9,2	MÄRKÄTIHEYYS, g/cm ³	1,77
PAINO ENNEN KOETTA, g	1600,0	KUIVATIHEYYS, g/cm ³	1,54
KYLLÄSTYSASTE ENNEN KOETTA, %	40,1	TIIVIYSASTE %	75,8
LÄMPÖTILA °C	23	HUOKOSLUKU	0,72
MITTASELLIN SISÄHALK. mm	30	HUOKOISUUS, %	42,0
VEDEN SUUNTA NÄYTTEESÄ	YLÖS	KYLLÄSTYSASTE, %	56,1

mittaus	seli- paine kPa	etu- paine kPa	taka- paine kPa	aika	menevä vesi mm	tuleva vesi mm	gradientti	kt m/s	k20°C m/s
1	220	200	170	16.4.96 9:14	158,50	14,00	28,81	3,76E-11	3,50E-11
				17.4.96 8:17	156,50	14,00			
2	220	200	170	17.4.96 8:17	156,50	14,00	28,81	2,42E-11	2,25E-11
				18.4.96 11:12	155,00	14,00			
3	220	200	170	18.4.96 11:20	138,00	7,00	28,81	3,08E-11	2,86E-11
				19.4.96 8:29	136,50	7,00			
4	220	200	170	19.4.96 8:29	136,50	7,00	28,81	2,71E-11	2,53E-11
				22.4.96 8:27	133,00	8,00			
5	220	200	170	22.4.96 8:27	133,00	8,00	28,81	3,59E-11	3,34E-11
				23.4.96 8:38	132,00	9,00			
6	220	200	170	23.4.96 8:38	132,00	9,00	28,81	4,28E-11	3,99E-11
				24.4.96 9:57	130,50	10,00			

Kokeen teki: _____ EmP

Keskiarvot

Gradientti	Vedenläpäisevyys [m/s]
28,8	3,1E-11

liSa01

Rakeisuuslomake

Ödometrikoeilistaus (3 koetta)

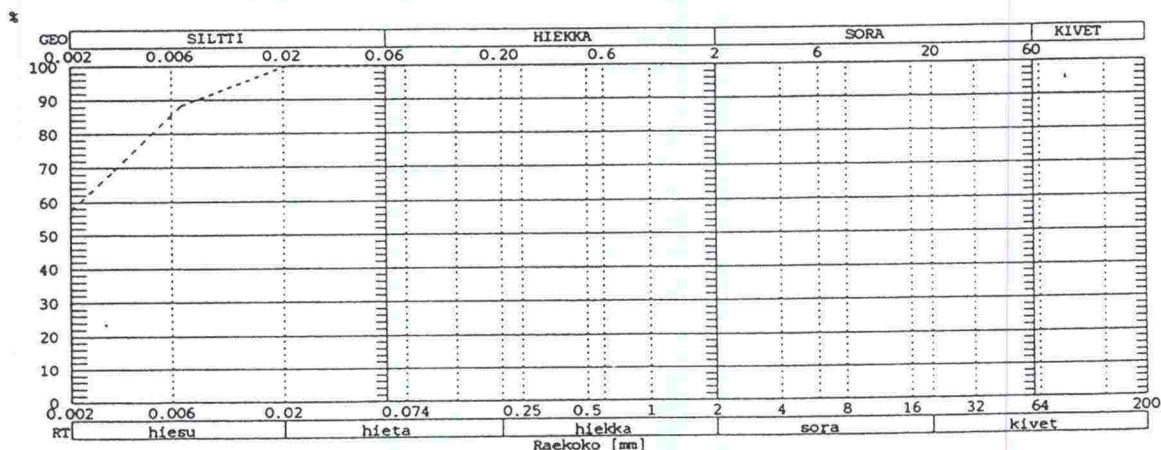
Vedenläpäisevyyskerroin-suhteellinen kokoonpuristuma kuvaaja
(3 koetta)

TIELAITOS
GEOKESKUS

LABORATORION TUTKIMUSSELOSTUS

Päivämäärä 010396
Työnumero 59
Tiedosto 0591996.MTD

Tiepiiri			
Tien nimi/Työmaa			
Paalu/Piste			
Häiritty(NO)/Häiriintymätön(NE)	NO		
Näytteen tunnus			
Tunnus	1		
Paalu	liSa01		
Syvyys	1.80		
Kiviä >300 mm	0.00		
200-300 mm	0.00		
64-200 mm	0.00		
Soraa 20-64 mm	0.00		
Irtotiheys			
Muotoarvo			
Murtopintaluku			
Vesipitoisuus %	-		
Humus:polttto, NaOH	0.31		
Lietepit. (0.074mm)	0.00		
Routivuus	Routiva		
Kantavuusluokka	F(G,E)		
Pengerma.käyttöl.			
Kapillaarisuus			
Maalajin nimi	liSa		



1	
2	
3	
4	

Päiväys	010396	Tutki	S. Stendahl
---------	--------	-------	-------------

Vedenläpäisevyyden määrittäminen CRS-ödometrikokeella liSa01

Häiriintymätön näyte

TIELAITOS
GEOPALVELUT
OPASTINSILTA 12
PL 33, 00521 HKI
PUH (90) 148 721

Työnumero 4092
Tilaja
Tiennumero
Tieosa
Paalu
Piste
Maanpinta
Syvyys 1,75 m
Koepvm 27.2.96
Koeselli 3

Tiedosto KYRÖ_1.DA2
Koetyyppi CRS-koe
Nopeus 0,0025 mm/min
Kesto 21,2 h
Palautus 4,7 h
Pal.kuorma 25,0 kPa
Palautuma 3,6 mm

Näytekokor 20,0 cm2
Näytekor, 15,0 mm

Sigma0 0,0 kPa

$\beta = -0,191$
 $m = 8,2$
 $C = 0,736$
 $A = -0,640$
 $\beta_2 = 1,000$
 $m_2 = 11,8$ (62,5 pal.)
 $C_2 = 0,004$
 $A_2 = 0,085$
Konsolid.jänn. 86,4 kPa

t [s]	σ [kPa]	Hvp [kPa]	ε [%]	σ' [kPa]	Nopeus [mm/min]	M [MPa]	k [m/s]
894	1,6	0	0,23	—	—	—	—
1794	3,5	0	0,47	—	—	—	—
2687	5,3	0	0,71	—	—	—	—
3586	7,3	0,5	0,95	—	—	—	—
4486	9,4	0,6	1,19	—	—	—	—
5386	11,4	0,5	1,43	11	0,0023	0,9555	4,80E-09
6286	14,1	0,9	1,67	13,5	0,0023	1,0402	3,05E-09
7186	16,9	0,8	1,9	16,3	0,0023	1,1221	3,17E-09
8086	19,4	1	2,14	18,7	0,0023	1,1919	2,76E-09
8986	22,4	1,1	2,38	21,7	0,0023	1,2529	2,54E-09
9886	25,8	1,5	2,61	24,8	0,0023	1,3019	1,82E-09
10786	28,7	1,2	2,84	27,9	0,0023	1,3401	2,16E-09
11686	32,2	1,5	3,08	31,2	0,0023	1,3535	1,74E-09
12586	35,7	2	3,31	34,4	0,0023	1,3583	1,34E-09
13486	39,1	2,6	3,54	37,4	0,0023	1,3594	1,03E-09
14386	42,6	3	3,77	40,6	0,0023	1,348	9,00E-10
15286	45,9	3,1	4,01	43,8	0,0023	1,3275	8,66E-10
16186	49,1	3,3	4,24	46,9	0,0023	1,2827	8,26E-10
17086	52,3	3,4	4,48	50	0,0023	1,2288	7,97E-10
17986	55,2	3,5	4,71	52,8	0,0023	1,1869	7,60E-10
18886	57,6	3,5	4,95	55,2	0,0023	1,1504	7,70E-10
19786	60,5	3,7	5,18	58	0,0023	1,1261	7,27E-10
20686	63,3	3,7	5,42	60,8	0,0023	1,1045	7,25E-10
21586	65,8	3,6	5,66	63,4	0,0023	1,0727	7,41E-10
22486	68,5	3,8	5,89	65,9	0,0023	1,033	7,16E-10
23386	70,9	3,9	6,13	68,2	0,0023	0,9973	6,85E-10
24286	73,1	4	6,37	70,4	0,0023	0,9821	6,76E-10
25186	75,5	3,9	6,61	72,8	0,0023	0,9663	6,82E-10
26086	77,8	4	6,85	75,1	0,0023	0,9817	6,73E-10
26986	80,3	4,1	7,08	77,5	0,0023	0,9563	6,44E-10
27886	82,5	4,2	7,32	79,7	0,0023	0,9312	6,30E-10
28786	85,2	4,2	7,56	82,3	0,0023	0,9189	6,29E-10
29686	86,7	4,3	7,8	83,8	0,0023	0,9009	6,16E-10
30586	89,2	4,4	8,04	86,2	0,0023	0,9007	5,97E-10
31486	91,5	4,5	8,28	88,4	0,0023	0,8851	5,90E-10
32386	93,5	4,5	8,52	90,5	0,0023	0,896	5,88E-10
33286	95,8	4,5	8,75	92,8	0,0023	0,8857	5,82E-10

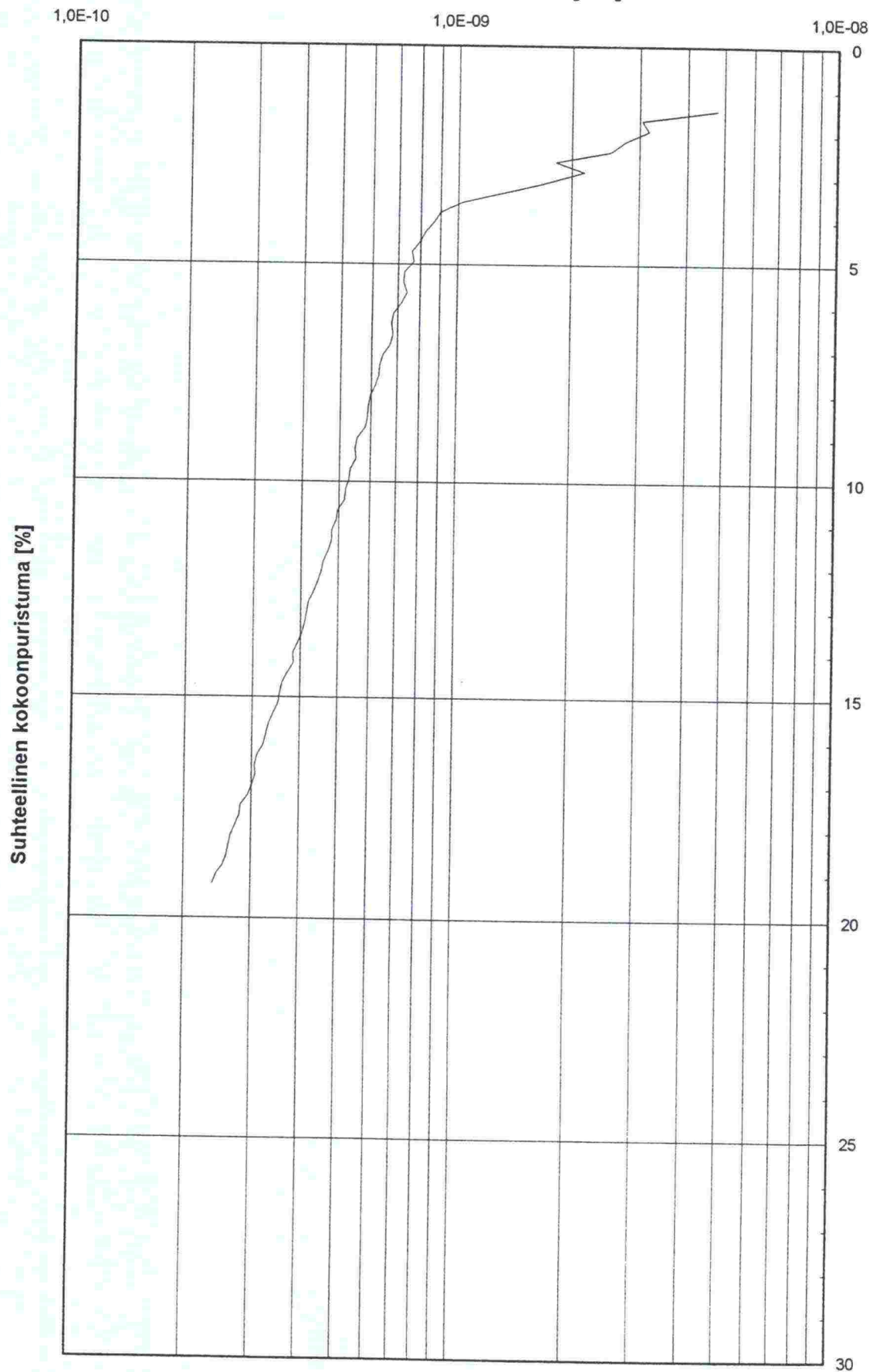
4 Teiden pohjavesisuojausissa käytettävien maatiivisteiden vedenläpäisevyyden määrittäminen
LIITE 9

34186	97,9	4,7	8,99	94,7	0,0023	0,8752	5,54E-10
35086	99,9	4,8	9,23	96,7	0,0023	0,894	5,48E-10
35986	102,2	4,7	9,47	99	0,0023	0,9051	5,51E-10
36886	104,3	4,9	9,71	101	0,0023	0,9064	5,32E-10
37786	106,8	4,9	9,95	103,5	0,0023	0,8994	5,30E-10
38686	109	5	10,19	105,6	0,0023	0,905	5,19E-10
39586	110,8	5	10,43	107,4	0,0023	0,924	5,17E-10
40486	113,1	5,2	10,67	109,6	0,0023	0,9309	4,95E-10
41386	115,6	5,2	10,9	112,1	0,0023	0,9659	4,93E-10
42286	118,1	5,3	11,14	114,5	0,0023	0,9855	4,79E-10
43186	120,3	5,3	11,38	116,8	0,0023	0,9847	4,78E-10
44086	122,9	5,4	11,62	119,2	0,0023	0,992	4,69E-10
44986	125,1	5,5	11,86	121,3	0,0023	1,0096	4,57E-10
45886	127,5	5,6	12,09	123,7	0,0023	1,0596	4,51E-10
46786	130,3	5,7	12,33	126,4	0,0023	1,09	4,42E-10
47686	132,8	5,8	12,57	128,9	0,0023	1,0992	4,31E-10
48586	136,1	6	12,8	132	0,0023	1,1016	4,18E-10
49486	138,5	6	13,04	134,4	0,0023	1,1143	4,14E-10
50386	140,7	6	13,28	136,6	0,0023	1,1473	4,09E-10
51286	143,6	6,1	13,51	139,4	0,0023	1,1726	4,03E-10
52186	146,7	6,3	13,75	142,5	0,0023	1,2409	3,92E-10
53086	149,8	6,4	13,98	145,5	0,0023	1,2881	3,82E-10
53986	152,7	6,3	14,22	148,5	0,0023	1,2871	3,83E-10
54886	156,1	6,6	14,45	151,7	0,0023	1,2835	3,68E-10
55786	159,2	6,8	14,68	154,6	0,0023	1,3063	3,57E-10
56686	162,1	6,8	14,92	157,5	0,0023	1,3731	3,53E-10
57586	165,2	6,9	15,15	160,6	0,0023	1,4194	3,49E-10
58486	168,8	7	15,39	164,1	0,0023	1,4479	3,40E-10
59386	172,9	7,1	15,61	168,1	0,0023	1,5091	3,32E-10
60286	176,2	7,2	15,85	171,3	0,0023	1,5465	3,26E-10
61186	179,2	7,3	16,08	174,3	0,0023	1,5736	3,22E-10
62086	183,7	7,6	16,31	178,6	0,0023	1,6034	3,10E-10
62986	187,4	7,7	16,54	182,3	0,0023	1,6632	3,05E-10
63886	191,3	7,6	16,77	186,2	0,0022	1,7321	3,06E-10
64786	195,3	7,7	17	190,1	0,0022	1,7558	3,00E-10
65686	199,3	7,8	17,23	194	0,0022	1,8354	2,93E-10
66586	204	8,1	17,46	198,5	0,0022	1,92	2,80E-10
67486	208,2	8,1	17,69	202,8	0,0022	2,0035	2,79E-10
68386	213,2	8,3	17,91	207,6	0,0022	2,0448	2,72E-10
69286	218,2	8,5	18,14	212,4	0,0022	2,0649	2,65E-10
70186	223	8,5	18,36	217,2	0,0022	2,1419	2,61E-10
71086	227,3	8,6	18,59	221,6	0,0022	2,199	2,59E-10
71986	232,3	8,7	18,82	226,4	0,0022	2,2707	2,53E-10
72886	238,3	9,1	19,04	232,3	0,0022	2,3584	2,42E-10
73786	243,7	9,2	19,26	237,5	0,0022	2,4402	2,37E-10
74686	249,1	9,3	19,48	242,9	--	--	--
75586	254,8	9,4	19,71	248,5	--	--	--
76486	260,5	9,6	19,93	254	--	--	--
--	--	--	16,33	25	--	--	--

liSa01

Häiriintymätön näyte

Vedenläpäisevyyskerroin k [m/s]



Vedenläpäisevyyden määrittäminen CRS-ödometrikokeella liSa01 Häiriintymätön näyte

TIELAITOS	Työnumero 4092	Tiedosto KYRÖ_2,DA2	$\beta = -0,059$
GEOPALVELUT	Tilaaaja	Koetyyppi CRS-koe	$m = 9,5$
OPASTINSILTA 12	Tiennumero	Nopeus ,0025 mm/min	$C = 1,875$
PL 33, 00521 HKI	Tieosa	Kesto 20,8 h	$A = -1,774$
PUH (90) 148 721	Paalu	Palautus 4,4 h	$\beta 2 = 1,000$
	Piste	Pal.kuorma 25,0 kPa	$m2 = 11,4 (66,6 \text{ pal.})$
	Maanpinta	Palautuma 3,4 mm	$C2 = 0,006$
	Syvyys 1,8 m	Näytekoko 20,0 cm2	$A2 = 0,088$
	Koepvm 28.2.96	Näytekorkeus 15,0 mm	Konsolid.jänn. 77,2 kP
	Koeselli 1		
		Sigma0 0,0 kPa	

t [s]	σ [kPa]	Hvp [kPa]	ε [%]	σ' [kPa]	Nopeus [mm/min]	M [MPa]	k [m/s]
896	1,8	0,5	0,23	--	--	--	--
1796	3,7	1,1	0,47	--	--	--	--
2696	5,6	1,5	0,71	--	--	--	--
3596	7,2	1,8	0,96	--	--	--	--
4496	9,4	2,2	1,19	--	--	--	--
5396	11,2	2,5	1,43	9,5	0,0023	0,8619	1,10E-09
6296	13,6	2,3	1,67	12,1	0,0023	0,9501	1,22E-09
7196	15,9	2,4	1,91	14,3	0,0023	1,0421	1,16E-09
8096	18,6	2,5	2,15	16,9	0,0023	1,1393	1,13E-09
8996	21,1	2,5	2,38	19,5	0,0023	1,2162	1,12E-09
9896	24,4	2,5	2,62	22,7	0,0023	1,2915	1,10E-09
10796	27,4	2,4	2,85	25,8	0,0023	1,2947	1,15E-09
11696	30,9	2,6	3,09	29,2	0,0023	1,2512	1,06E-09
12596	34,1	2,7	3,32	32,3	0,0023	1,1852	1,03E-09
13496	36,5	2,9	3,56	34,6	0,0023	1,0842	9,51E-10
14396	38,7	2,7	3,8	36,8	0,0023	1,0539	1,01E-09
15296	41,5	2,7	4,03	39,6	0,0023	1,0693	1,01E-09
16196	43,5	3,3	4,27	41,3	0,0023	1,1296	8,22E-10
17096	46,8	2,9	4,51	44,8	0,0023	1,1586	9,34E-10
17996	49,5	2,7	4,74	47,6	0,0023	1,1722	1,00E-09
18896	52,5	2,8	4,98	50,6	0,0023	1,1916	9,69E-10
19796	54,9	2,7	5,21	53	0,0023	1,1631	9,80E-10
20696	57,8	2,8	5,45	55,9	0,0023	1,1432	9,49E-10
21596	60,6	2,9	5,69	58,6	0,0023	1,0983	9,21E-10
22496	63,4	3	5,92	61,3	0,0023	1,0735	8,94E-10
23396	65,8	3	6,16	63,8	0,0023	1,0353	9,06E-10
24296	68	3,1	6,4	65,9	0,0023	1,0046	8,58E-10
25196	70,5	3,1	6,64	68,4	0,0023	0,9788	8,56E-10
26096	72,9	3,2	6,87	70,8	0,0023	0,9872	8,41E-10
26996	75,2	3,2	7,11	73,1	0,0023	0,961	8,29E-10
27896	77,5	3,4	7,35	75,3	0,0023	0,9292	7,88E-10
28796	80,2	3,4	7,59	77,9	0,0023	0,9247	7,77E-10
29696	81,8	3,5	7,83	79,4	0,0023	0,9266	7,57E-10
30596	84,1	3,5	8,07	81,7	0,0023	0,9211	7,65E-10
31496	86,6	3,5	8,3	84,2	0,0023	0,9082	7,45E-10
32396	88,9	3,7	8,54	86,4	0,0023	0,9254	7,17E-10
33296	91	3,7	8,78	88,5	0,0023	0,8994	7,08E-10

34196	93	3,7	9,02	90,5	0,0023	0,8912	7,06E-10
35096	95,3	3,8	9,26	92,7	0,0023	0,9067	6,82E-10
35996	97,4	3,9	9,5	94,7	0,0023	0,9483	6,64E-10
36896	99,8	4	9,74	97,1	0,0023	0,9552	6,55E-10
37796	102,1	3,9	9,97	99,5	0,0023	0,9543	6,61E-10
38696	104,9	4,1	10,21	102,1	0,0023	0,9652	6,32E-10
39596	106,7	4,1	10,45	103,9	0,0023	0,9561	6,24E-10
40496	109	4,2	10,69	106,2	0,0023	0,9748	6,09E-10
41396	111,6	4,2	10,93	108,7	0,0023	1,0024	6,02E-10
42296	113,9	4,4	11,16	110,9	0,0023	1,0525	5,82E-10
43196	116,6	4,4	11,4	113,7	0,0023	1,062	5,80E-10
44096	119,3	4,5	11,64	116,3	0,0023	1,0721	5,67E-10
44996	121,8	4,5	11,87	118,8	0,0023	1,0877	5,60E-10
45896	124,3	4,7	12,11	121,1	0,0023	1,0789	5,36E-10
46796	127,1	4,7	12,35	123,9	0,0023	1,1084	5,29E-10
47696	129,7	4,7	12,58	126,5	0,0023	1,1524	5,28E-10
48596	132,6	5,4	12,82	129	0,0023	1,1723	4,62E-10
49496	135,6	5,2	13,05	132,1	0,0023	1,2004	4,76E-10
50396	138,6	5,1	13,29	135,1	0,0023	1,258	4,86E-10
51296	141	5,1	13,53	137,6	0,0023	1,325	4,84E-10
52196	144,4	5,2	13,76	140,9	0,0023	1,3482	4,73E-10
53096	148	5,3	13,99	144,4	0,0023	1,3858	4,56E-10
53996	151,5	5,4	14,22	147,9	0,0023	1,4208	4,50E-10
54896	154,4	5,4	14,46	150,8	0,0023	1,4159	4,49E-10
55796	157,9	5,6	14,69	154,2	0,0023	1,4394	4,31E-10
56696	161,3	5,7	14,93	157,5	0,0023	1,5112	4,19E-10
57596	164,7	5,7	15,16	160,9	0,0023	1,5957	4,19E-10
58496	168,7	5,8	15,39	164,8	0,0023	1,6256	4,09E-10
59396	173,1	6	15,62	169	0,0023	1,6688	3,96E-10
60296	176,9	6	15,85	172,9	0,0023	1,7086	3,88E-10
61196	180,3	6,1	16,08	176,2	0,0022	1,7518	3,84E-10
62096	184,6	6,1	16,31	180,5	0,0022	1,7994	3,82E-10
62996	188,9	6,2	16,54	184,7	0,0022	1,8903	3,72E-10
63896	193,6	6,4	16,76	189,3	0,0022	1,9591	3,60E-10
64796	198	6,4	16,99	193,7	0,0022	2,0061	3,58E-10
65696	202,8	6,4	17,22	198,5	0,0022	2,0719	3,54E-10
66596	207,2	6,5	17,45	202,8	0,0022	2,1252	3,46E-10
67496	212,4	6,8	17,67	207,9	0,0022	2,2016	3,33E-10
68396	217,7	6,8	17,89	213,1	0,0022	2,2738	3,27E-10
69296	222,7	6,9	18,12	218,1	0,0022	2,3504	3,23E-10
70196	228,1	7	18,34	223,5	0,0022	2,4028	3,18E-10
71096	233,7	7,1	18,56	228,9	0,0022	2,4787	3,10E-10
71996	239,2	7,2	18,79	234,3	0,0022	2,5788	3,04E-10
72896	245	7,2	19,01	240,1	—	—	—
73796	251,3	7,5	19,23	246,2	—	—	—
74700	257,6	7,6	19,45	252,4	—	—	—
—	—	—	15,59	25	—	—	—

liSa01 Häiriintymätön näyte

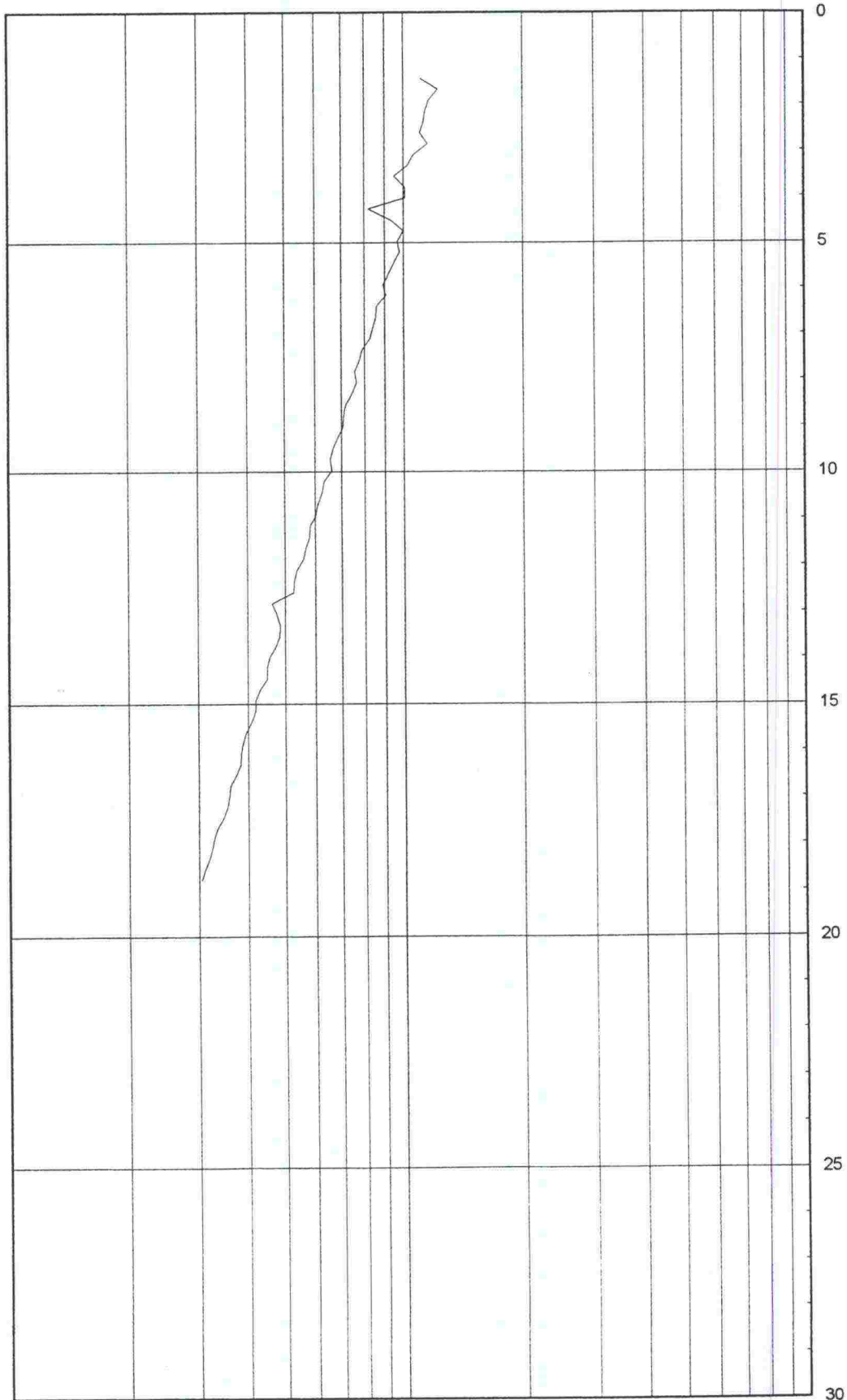
Vedenläpäisevyyskerroin k [m/s]

1,0E-10

1,0E-09

1,0E-08

Suhteellinen kokoonpuristuma [%]



Vedenläpäisevyyden määrittäminen CRS-ödometrikokeella liSa01 Häiritty näyte

TIELAITOS
GEOPALVELUT
OPASTINSILTA 12
PL 33, 00521 HKI
PUH (90) 148 721

Työnumero 4092
Tilaaja
Tiennumero
Tieosa
Paalu
Piste
Maanpinta
Syvyys 1,85 m
Koepvm 28.2.96
Koeselli 2

Tiedosto KYRÖ_3,DA2
Koetyyppi CRS-koe
Nopeus ,0025 mm/min
Kesto 30,0 h
Palautus 4,3 h
Pal,kuorma 25,0 kPa
Palautuma 3,1 mm
Näytekokko 20,0 cm2
Näytekorkeus 15,0 mm

$\beta = -0,031$
 $m = 20,5$
 $C = -1,345$
 $A = 1,586$
 $\beta_2 = -$
 $m_2 = - (73,6 \text{ pal.})$
 $C_2 = -$
 $A_2 = -$
Konsolid.jänn. -- kPa

Sigma0 0,0 kPa

t [s]	σ [kPa]	Hvp [kPa]	ε [%]	σ' [kPa]	Nopeus [mm/min]	M [MPa]	k [m/s]
893	-0,4	0	0,24	--	--	--	--
1793	-0,1	0,3	0,49	--	--	--	--
2693	0,2	0,6	0,74	--	--	--	--
3593	0,6	0,9	0,99	--	--	--	--
4493	1	1,3	1,23	--	--	--	--
5393	1,4	1,6	1,48	--	--	--	--
6293	1,6	1,8	1,73	--	--	--	--
7193	2,1	2,1	1,98	--	--	--	--
8093	2,7	2,3	2,22	--	--	--	--
8993	3,6	2,7	2,47	--	--	--	--
9893	4,3	2,9	2,72	--	--	--	--
10793	4,9	3,3	2,96	--	--	--	--
11693	5	3,6	3,21	--	--	--	--
12593	5,3	3,8	3,46	--	--	--	--
13493	5,4	4,1	3,71	--	--	--	--
14393	5,6	4,4	3,96	1,8	0,0024	0,0005	2,08E-10
15293	5,5	4,7	4,21	1,4	0,0024	0,0005	1,93E-10
16193	5,3	4,9	4,46	1	0,0024	0,0015	1,83E-10
17093	5,3	5,4	4,71	0,6	0,0024	0,0027	1,67E-10
17993	5,8	5,5	4,95	0,9	0,0024	0,0044	1,62E-10
18893	6,1	5,8	5,2	1,8	0,0024	0,0462	3,35E-10
19793	6,4	6	5,45	1,9	0,0024	0,054	3,37E-10
20693	6,6	6,2	5,7	1,9	0,0024	0,0414	3,01E-10
21593	7,1	6,7	5,95	2,1	0,0024	0,0469	2,96E-10
22493	7,3	7	6,19	2,2	0,0024	0,0553	2,92E-10
23393	7,5	6,9	6,44	2,4	0,0024	0,0625	3,05E-10
24293	7,9	7,2	6,69	2,6	0,0024	0,0558	2,85E-10
25193	8,4	7,7	6,94	2,7	0,0024	0,0516	2,58E-10
26093	8,8	8	7,19	2,8	0,0024	0,0481	2,34E-10
26993	8,8	8,1	7,44	2,7	0,0024	0,0464	2,32E-10
27893	9,2	8,4	7,68	2,9	0,0024	0,048	2,36E-10
28793	9,6	8,6	7,93	3,3	0,0024	0,0509	2,35E-10
29693	10	9	8,18	3,4	0,0024	0,0539	2,25E-10
30593	10,1	9,1	8,43	3,4	0,0024	0,0518	2,24E-10
31493	10,4	9,2	8,68	3,6	0,0024	0,0547	2,26E-10
32393	10,7	9,6	8,92	3,8	0,0024	0,0649	2,23E-10
33293	11,1	9,8	9,17	4	0,0024	0,0712	2,14E-10

10 Teiden pohjavesisuojausissa käytettävien maatiivisteiden vedenläpäisevyyden määrittäminen

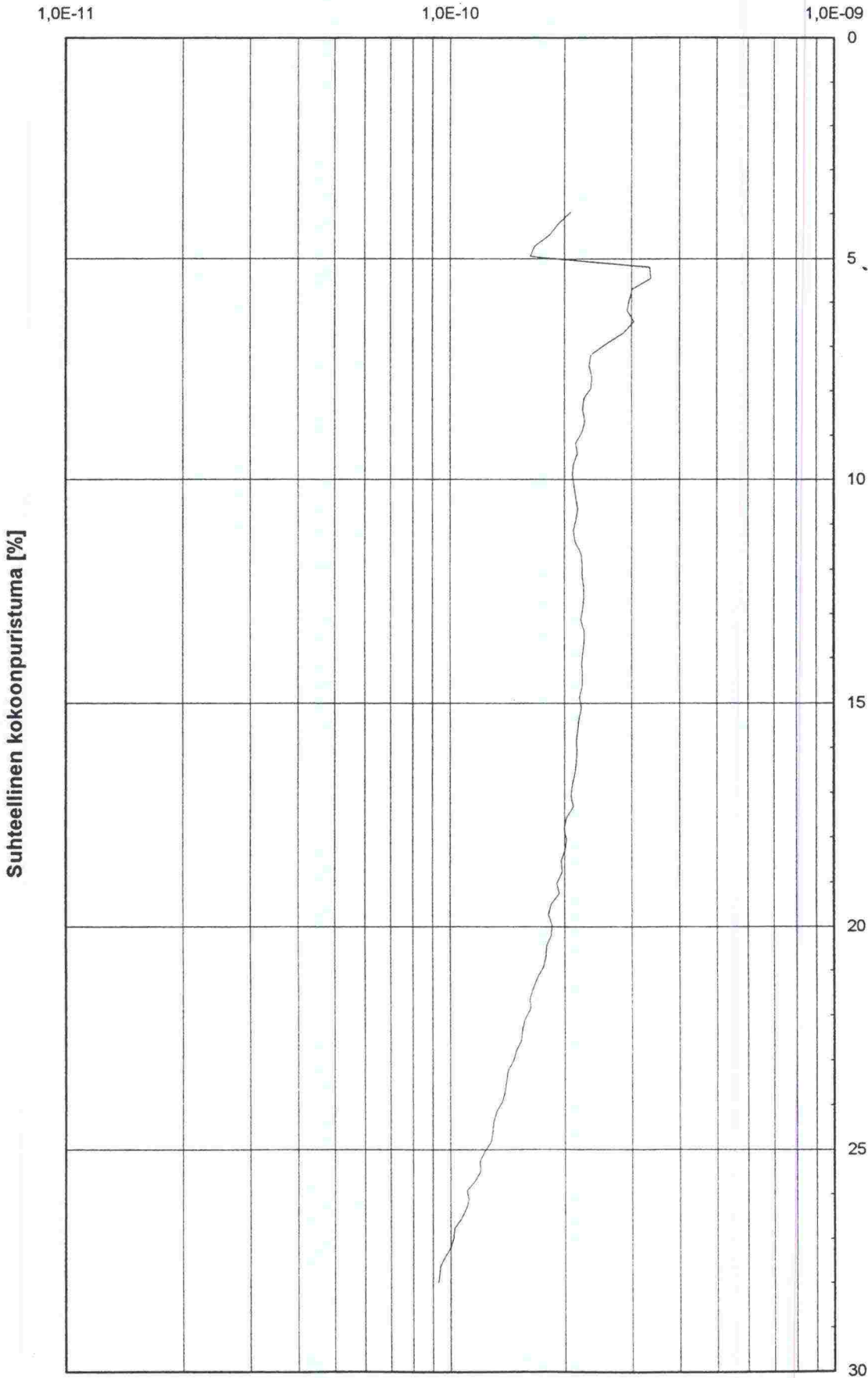
LIITE 9

34193	11,5	10	9,42	4,3	0,0024	0,0796	2,16E-10
35093	11,9	10,4	9,67	4,5	0,0024	0,0776	2,11E-10
35993	12,3	10,7	9,91	4,7	0,0024	0,0768	2,10E-10
36887	12,7	10,8	10,16	5	0,0024	0,0773	2,12E-10
37785	12,8	10,9	10,41	5,1	0,0024	0,0824	2,14E-10
38692	13,2	11	10,66	5,5	0,0024	0,0921	2,17E-10
39594	13,5	11,2	10,91	5,7	0,0024	0,0934	2,14E-10
40492	14	11,6	11,15	6	0,0024	0,1044	2,11E-10
41394	14,4	11,6	11,4	6,4	0,0024	0,1083	2,13E-10
42293	14,5	11,6	11,65	6,6	0,0024	0,1171	2,22E-10
43193	15	11,8	11,9	7	0,0024	0,1321	2,23E-10
44095	15,3	11,8	12,15	7,4	0,0024	0,1499	2,22E-10
44993	15,6	11,6	12,39	7,7	0,0024	0,1629	2,25E-10
45893	16,2	11,8	12,64	8,3	0,0024	0,1638	2,24E-10
46794	16,7	11,8	12,89	8,8	0,0024	0,171	2,24E-10
47693	17	11,9	13,14	9,1	0,0024	0,1887	2,21E-10
48598	17,3	11,6	13,39	9,5	0,0024	0,1994	2,25E-10
49493	17,9	11,6	13,63	10,1	0,0024	0,219	2,25E-10
50394	18,6	11,6	13,88	10,8	0,0024	0,2404	2,24E-10
51293	19,2	11,6	14,12	11,4	0,0024	0,2642	2,22E-10
52193	19,8	11,6	14,37	12,1	0,0024	0,2736	2,23E-10
53093	20,4	11,5	14,62	12,7	0,0024	0,2857	2,23E-10
53993	21,3	11,7	14,86	13,4	0,0024	0,3091	2,18E-10
54893	22	11,4	15,11	14,3	0,0024	0,3317	2,22E-10
55793	22,8	11,6	15,35	15	0,0024	0,3397	2,18E-10
56693	23,8	11,6	15,6	16	0,0024	0,3518	2,17E-10
57593	24,8	11,7	15,84	16,9	0,0024	0,3649	2,15E-10
58493	25,4	11,6	16,09	17,6	0,0024	0,3844	2,16E-10
59393	26,5	11,6	16,33	18,7	0,0024	0,3991	2,15E-10
60293	27,5	11,7	16,58	19,7	0,0024	0,4343	2,13E-10
61193	28,6	11,7	16,82	20,8	0,0024	0,4573	2,10E-10
62093	29,7	11,8	17,07	21,8	0,0024	0,4736	2,08E-10
62993	31,1	11,6	17,31	23,3	0,0024	0,5063	2,11E-10
63893	32,3	12	17,55	24,2	0,0024	0,5308	2,02E-10
64793	33,7	12,1	17,8	25,6	0,0024	0,5619	1,99E-10
65693	35,2	11,9	18,04	27,2	0,0024	0,6099	2,02E-10
66593	36,5	12	18,28	28,5	0,0024	0,624	2,01E-10
67493	38,3	12,2	18,52	30,1	0,0024	0,6523	1,96E-10
68393	40,2	12	18,76	32,2	0,0024	0,6814	1,97E-10
69293	41,2	12,4	19,01	32,9	0,0024	0,7366	1,90E-10
70193	43,4	12,1	19,25	35,2	0,0024	0,7605	1,93E-10
71093	45,6	12,7	19,48	37,1	0,0023	0,7923	1,84E-10
71993	48	12,9	19,72	39,3	0,0023	0,8592	1,81E-10
72893	49,4	12,6	19,96	41	0,0023	0,8823	1,85E-10
73793	51,6	12,6	20,2	43,2	0,0023	0,9247	1,84E-10
74693	54,2	12,9	20,44	45,5	0,0023	0,9745	1,79E-10
75593	56,6	12,8	20,68	48	0,0023	1,0623	1,78E-10
76493	59	12,9	20,92	50,4	0,0023	1,0966	1,76E-10
77393	62	13,3	21,15	53,1	0,0023	1,1247	1,70E-10
78293	65,3	13,5	21,38	56,2	0,0023	1,181	1,65E-10
79193	67,7	13,7	21,62	58,5	0,0023	1,252	1,62E-10
80093	70,5	13,6	21,86	61,3	0,0023	1,32	1,63E-10
80993	74,2	14	22,09	64,8	0,0023	1,3844	1,57E-10
81893	77,8	14,1	22,32	68,3	0,0023	1,4696	1,55E-10
82793	81,3	14,1	22,55	71,8	0,0023	1,5419	1,54E-10
83693	84,9	14,5	22,79	75,2	0,0023	1,5921	1,49E-10

84593	88,6	14,6	23,02	78,8	0,0023	1,6792	1,47E-10
85493	93,1	15,1	23,24	83	0,0022	1,7668	1,42E-10
86393	97,1	15,1	23,47	87	0,0022	1,8883	1,40E-10
87293	101,7	15,1	23,7	91,6	0,0022	1,9795	1,39E-10
88193	106,2	15,3	23,93	95,9	0,0022	2,0218	1,37E-10
89093	111,6	15,7	24,15	101,1	0,0022	2,1311	1,32E-10
89993	116,4	15,8	24,38	105,7	0,0022	2,2525	1,30E-10
90893	120,7	15,8	24,61	110,1	0,0022	2,3905	1,29E-10
91793	126,9	15,9	24,83	116,2	0,0022	2,4953	1,28E-10
92693	133,2	16,4	25,05	122,2	0,0022	2,637	1,23E-10
93593	139,2	16,6	25,26	128,1	0,0021	2,7853	1,19E-10
94493	144,9	16,5	25,49	133,9	0,0021	2,8202	1,20E-10
95393	151,6	16,9	25,7	140,2	0,0021	2,9467	1,16E-10
96293	159	17,6	25,92	147,1	0,0021	3,1369	1,10E-10
97193	164,7	17,2	26,14	153,1	0,0021	3,2801	1,12E-10
98093	172,6	17,5	26,35	160,9	0,0021	3,3992	1,10E-10
98993	180,9	17,8	26,56	168,9	0,0021	3,5652	1,06E-10
99893	188	18,3	26,77	175,8	0,002	3,8125	1,02E-10
100793	195,8	18,2	26,98	183,6	0,002	3,9451	1,02E-10
101693	204,7	18,3	27,19	192,4	0,002	4,0854	1,00E-10
102593	214,4	18,7	27,39	201,9	0,002	4,2895	9,73E-11
103493	223	19,1	27,6	210,2	0,002	4,4639	9,44E-11
104393	231,7	19	27,81	219	0,002	4,6567	9,37E-11
105293	241,4	19	28,01	228,7	0,002	4,8004	9,30E-11
106193	251,9	19,6	28,21	238,8	—	—	—
107093	263	19,9	28,4	249,7	—	—	—
107993	272,5	19,8	28,61	259,2	—	—	—
—	—	—	25,82	25	—	—	—

liSa01 Häiritty näyte

Vedenläpäisevyyskerroin k [m/s]



TIELAITOKSEN TUTKIMUKSIA

- 4/1992 Tiepenkereen holvautuminen, loppuraportti. TIEL 3100005
- 5/1993 Arktinen tienrakentaminen, Kilpisjärven hankkeen yhteenveto. TIEL 3100011
- 2/1994 Routanousun mallintaminen, kirjallisuusselvitys. TIEL 3100013

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 68/1993 Kuitukankaat tienrakennuksessa; Uudistetun VTT-GEO luokituksen mukaiset laatuvaatimukset. TIEL 3200193
- 77/1993 Moreenin jalostaminen. TIEL 3200201
- 81/1993 Vt 12 Veittostensuon syvästabilointi, tutkimusraportti. TIEL 3200205
- 82/1993 Emulsiopäällysteiden suunnittelu ja rakentaminen. TIEL 3200206
- 4/1994 Strategic Highway Research Program (SHRP) - Long-Term Pavement Performance (LTPP); Materiaalimodulin määrittäminen takaisinlaskentaohjelmalla sekä tierakenteen vaurioitumisajankohdan ennustemallit. TIEL 3200213
- 8/1994 Roudan vaikutusten mallintaminen. TIEL 3200219
- 12/1994 Jännitys- ja muodonmuutosmittaukset tierakenteissa 1992-1993. Roudan sulamisen simulointi, pohjaveden pinnan vaikutus korkeassa lämpötilassa ja päällysteen reunan vaikutus. TIEL 3200223
- 28/1994 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Vuoden 1993 kuormituskokeet. TIEL 3200238
- 30/1994 Kallioleikkaukset. TIEL 3200240
- 45/1994 Maan routimisen termomekaaninen malli ja sen laskelmat. TIEL 3200254
- 53/1994 Kalliomurskeiden tiivistyminen ja hienoneminen, loppuraportti. TIEL 3200262
- 3/1995 Kuormituskestävyyden tavoitekriteerit. TIEL 3200281
- 15/1995 Betonipäällysteen seuranta, vt 4 Kempele-Kiviniemi, seurantaraportti nro 2. TIEL 3200293
- 20/1995 Sään ja hydrologisten tekijöiden vaikutus kevätkelirikoon. TIEL 3200298
- 30/1995 TPPT:n laatusuunnitelma. TIEL 3200308
- 43/1995 Tukitelineperustusten kantokyky. TIEL 3200319
- 44/1995 Kaltevan maanpinnan vaikutus perustusten kantokykyyn. TIEL 3200320
- 45/1995 Maanvaraisten perustusten kantokyvyn laskenta elementtimenetelmällä. TIEL 3200321
- 54/1995 Veittostensuon koerakenteen toiminta ja laadun arviointi. TIEL 3200330
- 58/1995 Kestävän kehityksen tierakenteet - ideakilpailu. TIEL 3200333
- 94/1995 Stabiloidun maamassan leikkauslujuuden ja CPT-kairauksen välinen riippuvuus. TIEL 3200369
- 6/1996 Tuotannon laatu; Kuormitus ja routakestävyysrakenteet. TIEL 3200375
- 13/1996 Masuunihiekkastabilointi. TIEL 3200382
- 16/1996 Tavoitekriteerit (TPPT). TIEL 3200385
- 17/1996 Moreenin hyötykäytön edistäminen murskausteknisin keinoin (TPPT). TIEL 3200386

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 29/1996 Tien rakennekerrosmateriaalin stabilointi masuunikuonatuotteilla. TIEL 3200397
- 32/1996 Häiriintymättömien maanäytteiden otto. TIEL 3200400
- 33/1996 Ödometrikoe. TIEL 3200401
- 34/1996 Sitomattomien materiaalien moduulit; Täydentävien kuormituskokeiden tulokset, osa 1. TIEL 3200402
- 35/1996 Havaintoteiden asfalttipäällysteiden moduulit. TIEL 3200403
- 36/1996 Eriste- ja kevennysmateriaalien routakestävyys; Palaturve. TIEL 3200404
- 37/1996 Koerakennekohteiden materiaalien routakestävyys; Pohjoiset kohteet. TIEL 3200405
- 38/1996 Rakenneratkaisujen alustava suunnittelu ja kehittäminen. TIEL 3200406
- 39/1996 Pilari- ja massastabiloinnin tuotantotekniikka. TIEL 3200407
- 44/1996 Sitomattomien materiaalien moduulit; Muutosmoduulin arviointi korkearakeisilla kiviaineksilla, osa 2. TIEL 3200412
- 46/1996 LD-teräskuonatie rakennusmateriaalina. TIEL 3200414
- 70/1996 Kantavan kerroksen asfalttibetoni; Referenssimateriaalin ominaisuudet. TIEL 3200437
- 77/1996 Syvästabilointi kehittyvänä pohjavahvistusmenetelmänä; International Conference IS-Tokio '96. TIEL 3200444
- 78/1996 Moreenin rakeistaminen pellettoimalla; Nykytilaselvitys. TIEL 3200445
- 4/1997 Siltojen perustusten geoteknisen mitoituksen vertailu eurocodien ja kansallisten ohjeiden mukaan. TIEL 3200452
- 5/1997 Tiepenkerein luonnonluiskan ja jäykän tukimuurirakenteen vertailevat mitoituslaskelmat eurocodien ja kansallisten ohjeiden mukaan. TIEL 3200453
- 11/1997 Betonipäällysteen seuranta vt 4 Kempele-Kiviniemi. Kuntoraportti TIEL 3200458
- 23/1997 Masuunihiekan käyttö päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200470
- 30/1997 Teiden pohjavesisuojausissa käytettävien maatiivisteiden vedenläpäisevyyden määrittäminen. TIEL 3200476
- 35/1997 Palaturpeen käyttö tierakenteessa. TIEL 3200481
- (Geotekniikan informaatiojulkaisuja:)**
- 2/1993 Massanvaihto. TIEL 3200127
- 21/1993 Pengerpaalutus. TIEL 3200147
- 24/1993 Tiegeotekniikan yleiset mitoitusperusteet. TIEL 3200150
- 39/1994 Tiepenkerein siirtymärakenteet pehmeiköllä. TIEL 3200248
- 42/1994 Nauhapystyöjitus. TIEL 3200251
- 67/1994 Maanvarainen tiepenger savikolla, suunnitteluohje. TIEL 3200276
- 79/1995 Tieleikkausten pohjatutkimukset. TIEL 3200354
- 79/1996 Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. TIEL 3200446
- 18/1997 Syvästabiloinnin mitoitusohje. TIEL 3200465
- 28/1997 Tien kevennysrakenteet. TIEL 3200475